

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УССР
Институт минеральных ресурсов

**ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РТУТНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ
В УСЛОВИЯХ УКРАИНСКОЙ ССР**

(Методические рекомендации)

СИМФЕРОПОЛЬ 1987

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УССР
Институт минеральных ресурсов

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНСКОЙ ССР
(Методические рекомендации)

5730
Печатается по постановлению Ученого Совета института

Симферополь 1987



УДК 550.842: 553.499 (477)

Литохимические поиски ртутных месторождений по потокам
рассеяния в условиях Украинской ССР

(Методические рекомендации)

Составитель Е.П.Захаров

В работе описываются научные основы и практическое использование литохимических поисков ртутных и других типов месторождений по потокам рассеяния в условиях Украинской ССР, Средней Азии, Красноярского края и Тувинской АССР. Описывается методика отбора, хранения, обработки и анализа проб, комплексирования методов, определения форм нахождения ртути и подсчета прогнозных ресурсов. Показана ведущая роль литохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых при опосредованном поиске, так и слабо расчлененных больших территорий.

172 стр., 25 рис.; 30 табл., 31 библиогр. наимен.

Институт минеральных ресурсов
Министерство геологии УССР

1987

©

ВВЕДЕНИЕ

Планами социального и экономического развития нашей страны на XII пятилетку и до 2010 года предусматривается значительное ускорение научно-технического прогресса во всех областях народного хозяйства. Бурное развитие промышленности и сельского хозяйства немыслимо без расширения минерально-сырьевой базы. Ускорение научно-технического прогресса должно найти ведущее место не только в технике и технологии, но и в минерально-сырьевом комплексе страны.

Большую помощь в открытии новых месторождений и расширении минерально-сырьевой базы Советского Союза могут оказать геохимические методы поисков. Прикладная геохимия все шире внедряется в различные отрасли народного хозяйства (применение микроэлементов в сельском хозяйстве и медицине, при изучении геохимии окружающей среды, экологических и геодинамических процессов, космогеохимии и т.д.) и особенно в практику геологоразведочных работ.

Геохимические методы применяются на всех стадиях и подстадиях геологоразведочного процесса и хорошо зарекомендовали себя при поисках и разведке различных видов минерального сырья. Среди геохимических методов исключительное и ведущее значение имеют литохимические поиски по потокам рассеяния (по пролювио-аллювиальным отложениям), элювио-делювиальным образованиям и по коренным породам. С помощью этих методов более 100 рудных месторождений открыто только в Советском Союзе. Большое количество месторождений полезных ископаемых открыто литохимическими методами и за рубежом.

При опосковании больших территорий, в первый этап иссле-

дований, проводятся литохимические поиски по потокам рассеяния в масштабе I:200000 - I: 50000. Последние осуществляются самостоятельно или в комплексе с гидрохимическим, шлиховым и шлихо-геохимическим методами. При этом, производственными организациями, выполняющими литохимические поиски по потокам рассеяния на территории Украинской ССР могут быть использованы приемы и способы, разработанные нами, особенно при отборе, обработке и хранении проб. Дальнейшему совершенствованию литохимического метода поисков по потокам рассеяния и его комплексированию с другими методами посвящены настоящие методические рекомендации.

Предлагаемый подход к литохимическим поискам по потокам рассеяния в слабо- и сильно расчлененном рельефе Украинской ССР может быть внедрен и использован при геохимических поисках других типов месторождений полезных ископаемых в различных регионах мира.

Автор настоящих методических рекомендаций с признательностью и благодарностью примет все советы и замечания по поводу дальнейшего совершенствования методики литохимических поисков месторождений полезных ископаемых по потокам рассеяния на сильно- и слабо расчлененных больших территориях, находящихся в различных ландшафтно-геохимических условиях СССР.

Имеющиеся соображения по этому вопросу прошу направлять по адресу: 333620, г.Симферополь, пр.Кирова, 47/2, ИМП.

1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научную основу геохимических поисков составляют особенности механической, физико-химической, водной, газовой и биогенной миграции химических элементов, а также модель формирования литохимических потоков и ореолов рассеяния. Научный подход к решению вопроса литохимических поисков месторождений полезных ископаемых находит свое отражение в методике отбора, хранения и обработке проб и в конечном счете - в повышении эффективности геологоразведочных работ и в увеличении минерально-сырьевой базы.

1.1. Особенности механической миграции химических элементов

В земной коре происходят многочисленные механические и механохимические процессы: эрозия, дефляция, сорбция, разложение минералов. Так, при истирании карбонаты разлагаются с выделением кислорода, арсениды - мышьяка, сульфиды - серы, гидратные минералы - воды и т.д.

Ведущим показателем механической денудации или механогенеза служит годовой расход взвешенных частиц реки в тоннах на 1 км^2 площади бассейна (R_m). Механическая денудация зависит от климата, геологического строения и рельефа. Она минимальна на гумидных лесных равнинах, где преобладает химическая денудация. Так, у рек: Енисея R_m равен 4; у Днепра - 5; Невы - 3,9; Волги - 19 т/км^2 . В аридных горах с широким распространением рыхлых отложений R_m увеличивается в сотни раз, достигая 1000 - 2000 т/км^2 , а для районов развития скальных пород R_m понижается на порядок (100 - 120 т/км^2). В горных гумидных районах R_m меньше, но и здесь механическая денудация опережает хими-

ческую (А.И.Перельман, 1979 г.).

В современную геологическую эпоху на земном шаре механическая денудация преобладает над химической. Источник рудных элементов в литохимических потоках и ореолах рассеяния является полигенным. Литохимический поток формируют три составляющих:

1) главные составляющие потока; 2) второстепенные составляющие первого порядка; 3) второстепенные составляющие второго порядка (рис.1).

В главные составляющие потока входят механические частицы, образованные за счет разрушения руд, первичных и вторичных литохимических ореолов, а также - вмещающих коренных пород. Второстепенные составляющие первого порядка - гидрохимические потоки подземных и поверхностных вод, электрохимические потоки подземных вод, газовые потоки в литосфере и гидросфере и биогеохимические ореолы с биологическими процессами. Второстепенные составляющие второго порядка - это космическо-атмосферные составляющие, т.е. выпадение дождевых вод и снега с рудными элементами, выпадение твердых частиц с рудными элементами, газовые потоки рудных элементов в атмосфере, выделение растениями рудных элементов в газообразной форме.

Таким образом, все процессы, протекающие в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере взаимосвязаны. Разнообразные процессы протекают и при формировании литохимических потоков рассеяния. Рудные элементы мигрируют в твердой, жидкой и газообразной фазах и при определенных протекающих процессах выпадают в литохимический поток рассеяния. Три ветви составляющих, в зависимости от ландшафтно-геохимических условий, позволяют классифицировать литохимические потоки на: 1) механические; 2) сорбционно-механические; 3) сорбционные. В потоке, кроме гидродинамических и фи-



Рис. I. Модель формирования литохимического потока рассеяния рудного месторождения

зико-химических условий, на миграцию элементов влияют внутренние и внешние факторы. В целом материал потока распределяется на глинисто-илистый и песчаный, содержащий рудные элементы (Захаров Е.П., 1984-1985 г.г.). Отношения средних содержаний породообразующих элементов (данные по 20 регионам мира по А.А.Беусу и другим исследователям) приведены в таблицах I, 2, 3.

Таблица I

Отношение средних содержаний породообразующих элементов в глинах и песках осадочной оболочки континентальной литосферы

Элемент	Среднее содержание элементов в %		Отношение средних содержаний элементов в глинах и песках ($C_1 : C_2$)
	глины (C_1)	пески (C_2)	
<i>Al</i>	9,50	2,90	3,28
<i>H</i>	0,51	0,25	2,04
<i>Mg</i>	1,50	0,75	2,00
<i>K</i>	2,33	1,24	1,88
<i>Fe</i>	4,80	2,80	1,71
<i>Ti</i>	0,46	0,30	1,53
<i>Mn</i>	0,05	0,04	1,25
<i>O₂</i>	49,5	51,5	0,96
<i>Na</i>	0,84	0,92	0,91
<i>Ca</i>	2,20	2,68	0,82
<i>Si</i>	25,50	34,70	0,73

Таблица 2

Отношение средних содержаний элементов в глинистых и карбонатных современных глубоководных осадках

Элемент	Среднее содержание элементов в осадках в %		Отношение средних содержаний элементов в глинистых и карбонатных осадках ($C_3 : C_4$)
	глинистые (C_3)	карбонатные (C_4)	
<i>Fe</i>	5,60	1,84	3,04
<i>Mg</i>	1,93	0,80	2,41
<i>Mn</i>	0,45	0,21	2,39
<i>K</i>	2,25	1,03	2,18
<i>Al</i>	8,30	4,06	2,04
<i>Si</i>	25,00	12,30	2,03
<i>Ca</i>	1,88	25,50	0,07

Таблица 3

Отношение средних содержаний породообразующих элементов в глинах и песках современных осадков

Элемент	Среднее содержание элементов в %		Отношение средних содержаний элементов в глинах и песках ($C_5 : C_6$)
	глины (C_5)	пески (C_6)	
<i>Mg</i>	1,31	0,47	2,79
<i>Al</i>	8,30	3,20	2,59
<i>Na</i>	1,68	0,77	2,18
<i>K</i>	1,92	0,90	2,13
<i>Ti</i>	1,47	0,27	1,74
<i>Fe</i>	5,20	3,10	1,68
<i>Ca</i>	1,11	1,75	0,63

По данным таблиц I, 2 и 3 можно составить ранжированные ряды: а) в глинах и песках осадочной оболочки континентальной литосферы: $Al, H, Mg, K, Fe, Ti, Mn, O_2, Na, Ca, Si$; б) в глинистых и карбонатных современных глубоководных осадках: $Fe, Mg, Mn, K, Al, Si, Ca$; в) в глинах и песках современных осадков: $Mg, Al, Na, K, Ti, Fe, Ca$.

Из ранжированных рядов следует, что в глинистых отложениях по сравнению с песчаными или карбонатными наблюдается преобладание содержания Mg, Al, Fe, Mn и других элементов. В глинисто-илистых отложениях находится и повышенное содержание рудных элементов. Это объясняется тем, что рудные элементы разрушаются на очень мелкие частицы $< 0,001$ мм, обволакиваются глинисто-илистым материалом и во взвешенном состоянии могут переноситься водами. Рудные элементы, перешедшие в воду сорбируются глинисто-илистым материалом. Магний, алюминий, железо, марганец и другие породообразующие элементы образуют геохимические сорбционные барьеры для аккумуляции рудных элементов в литохимических потоках. Кроме того, глинисто-илистый материал является более пористым по сравнению с песчаным. Так, средняя пористость глубоководных глин 38,1%, а глобигеринового ила 58,6% (А.А.Беус, 1981 г.). В глинистом и илистом материале находится связанная вода, которая обладает повышенными сорбционными свойствами по сравнению со свободной водой. Большую роль в сорбции рудных элементов играют бактерии и органический углерод (органическое вещество), которые сосредоточены в повышенных количествах в глинисто-илистом материале, нежели в песчаном. В процессе выветривания соединения железа и алюминия образуют коллоиды, которые легко сорбируют рудные элементы. К.Турекьян и К.Ведеполь определили средний состав глин и песчаников и рассчитали коэффициенты концентрации

(K_K) - последние представляют собой отношение содержания в глинах и песчаниках (табл.4).

Таблица 4

Коэффициенты концентрации (K_K) элементов в глинах относительно песчаников

Элемент	K_K	Элемент	K_K	Элемент	K_K
Co	63,0	Bz	4,0	Hf	0,71
Ni	34,0	La	3,6	Th	0,70
Ce	18,0	Al	3,2	Y	0,65
Sz	15,0	Ti	3,0	Ce-Lu	0,66- 0,58
Mg	13,3	Na	2,9		
Sc	13,0	B	2,8	Si	0,5
As	13,0	Pb	2,8	Ca	0,5
Mo	13,0	F	2,7		
Se	12,0	K	2,5		
S	10,0	Rb	2,3		
U	8,2	Ye	2,0		
V	6,5	Te	1,7		
Zn	6,0	Ya	1,5		
Fe	4,8	J	1,3		
Li	4,4	W	1,1		
P	4,1	Zz	0,72		

Из таблицы 4 видно, что большинство химических элементов аккумулируются в глинистом материале.

Для изучения закономерностей распределения рудных элементов в пролювио-аллювиальных отложениях и элювио-делювиальных

образованиях различных регионов СССР нами выполнено около 2000 ситовых анализов. Пробы отобраны в следующих регионах: Украинская ССР (Донбасс: Славянское, Дружковско-Константиновское, Никитовское ртутно-рудные поля, Ольховатско-Волынцевская антиклиналь; Закарпатье: рудопроявления ртути Боркут, Большой Шаян, Грендеш; Крым: рудопроявления - ртути: Лозовское, Новолозовское, Альминское, Приветнинское, Веселовское, Южное Малосалгирское, Северное Малосалгирское; Одесская область - Савраньское кобальто-никелевое рудопроявление; Запорожская область - редкометальное проявление; Донецкая область - редкометальное проявление; Киевская, Днепропетровская, Николаевская и другие области; акватория Черного моря, озера Саки, Сасык и Майнаки), Молдавская ССР; РСФСР (Красноярский край, Тувинская АССР, Ленинградская, Архангельская и другие области), Киргизская ССР и Узбекская ССР Средней Азии.

В результате установлено, что ртуть и другие рудные элементы концентрируются в большом количестве во фракциях менее 0,074 мм. Это свидетельствует о большой роли сорбционных процессов и накоплении рудных элементов в пролювио-аллювиальных и элювио-делювиальных отложениях. При формировании литохимического потока рудных месторождений концентрация и рассеяния элементов в системе меняются в пространстве и времени. Несмотря на незначительные колебания давления и температуры в системе, проходящие процессы очень сложны и требуют дальнейшего изучения. Динамика и кинетика проходящих процессов, вероятно описывается уравнением материального баланса следующего вида:

$$\frac{\partial C_i^p}{\partial t} + \frac{\partial C_i^{30}}{\partial t} + \frac{\partial C_i^{39}}{\partial t} + \frac{\partial C_i^7}{\partial t} + \frac{\partial C_i^{K6}}{\partial t} + \frac{\partial C_i^r}{\partial t} +$$

$$+v_i^{ob} + v_i^{\delta} + v_{in} + v_i^c - v_i^{\delta} \frac{\partial C_i^{kb}}{\partial z} - D_i \cdot \Delta (C_i^{kb} + C_i^n) = 0$$

где: t - время; C_i - содержание i элемента в литохимическом потоке за счет разрушения руд (C_i^D), эндогенных ореолов (C_i^{EO}), вторичных литохимических ореолов рассеяния в элювио-делювиальных образованиях (C_i^{DQ}), вмещающих горных пород ($C_i^П$); содержание i элемента за счет кристаллизации, сорбции из вод (C_i^{KB}) и газовой составляющей ($C_i^Г$); v_i^{ob} - скорость окислительно-восстановительных реакций по перераспределению i элемента; v_i^{δ} - скорость бактериальной переработки i элемента в донных осадках; v_{in} - скорость реакций между i и n элементами в воде; v_i^c - скорость химических реакций при кристаллизации и сорбционных процессах из жидкой и газовой фаз; v_i^{δ} - скорость переноса i элемента потоком отжимаемой воды при литификации донного осадка и направленным параллельно оси Z снизу вверх; D_i - коэффициент диффузии компонента; Δ - оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Процессы, протекающие в элювио-делювиальных образованиях при формировании вторичных литохимических ореолов рассеяния, также сложны. Динамика и кинетика проходящих процессов возможно описывается уравнением материального баланса следующего типа:

$$\frac{\partial C_x^P}{\partial t} + \frac{\partial C_x^{SO}}{\partial t} + \frac{\partial C_x^N}{\partial t} + \frac{\partial C_x^{KB}}{\partial t} + v_x^{ob} + v_x^{\delta} + v_{xn} +$$

$$+V_x^c - V_x^b \cdot \frac{\partial C_x^{kb}}{\partial t} - D_i \cdot \Delta \cdot (C_i^{kb} + C_i^r) = 0$$

где: t - время; C_x - содержание x элемента в элювио-делювиальных образованиях за счет разрушения руд (C_x^p), эндогенных ореолов ($C_x^{до}$), вмещающих горных пород ($C_x^п$); C_x - содержания x элемента за счет кристаллизации и сорбции из жидкой ($C_x^{кв}$) и газовой (C_x^r) составляющих; $V_x^{об}$ - скорость окислительно-восстановительных реакций по перераспределению x элемента; V_x^b - скорость бактериальной переработки элемента в элювио-делювиальных образованиях; V_{xx} - скорость реакций между x и n элементами в жидкой фазе элювио-делювиальных образований; V_x^c - скорость химических реакций при кристаллизации и сорбционных процессов из жидкой и газообразной фаз; V_x^b - скорость переноса x элемента при образовании элювио-делювиальных отложений; D_i - коэффициент диффузии компонента; Δ - оператор Лапласа.

Динамика и кинетика формирования литохимических ореолов и потоков рассеяния являются основой для геохимических поисков и прогнозирования рудных месторождений. Используя модель формирования литохимических ореолов и потоков рассеяния, динамику и кинетику их формирования, большое количество ситовых анализов, а также исследуя в вертикальных и горизонтальных разрезах рыхлые отложения, нами разработана классификация механических составляющих этих отложений (табл.5) и классификация пролювио-аллювиальных и элювио-делювиальных образований по механическому составу (табл.6).

Таблица 5

Классификация механических составляющих пролювио-
аллювиальных отложений и элювио-делювиальных
образований

Т и п материала	Механические составляю- щие материала	Размер механичес- ких составляющих в мм
1. Обломочный	1. Обломки крупные	> 4
	2. Обломки средние	2 - 4
	3. Обломки мелкие	2 - 1
2. Песчаный	1. Песок крупный	1 - 0,5
	2. Песок средний	0,5 - 0,25
	3. Песок мелкий	0,25 - 0,05
3. Супесчано- суглинистый	1. Супесь	0,05-0,04
	2. Суглинки легкие	0,04-0,03
	3. Суглинки средние	0,03-0,02
	4. Суглинки тяжелые	0,02-0,01
4. Глинистый	1. Глина легкая	0,01-0,007
	2. Глина средняя	0,007-0,005
	3. Глина тяжелая	0,005-0,001
5. Илистый	1. И л грубый	0,001-0,0005
	2. И л тонкий	0,0005-0,0001
6. Коллоидный	1. Коллоиды	< 0,0001

Таблица 6

Классификация пролювио-аллювиальных отложений и элювио-делювиальных образований по механическому составу

Тип материала	Наименование материала по механическому составу	Содержание глинисто-илисто-коллоидных частиц диаметром $\leq 0,01$ мм, в %
1. Обломочный	1. Обломки не связные	0
	2. Обломки связные	0 - 2
2. Песчаный	1. Песок не связный	0 - 5
	2. Песок связный	5 - 10
3. Супесчано-суглинистый	1. Супесь	10 - 20
	2. Суглинки легкие	20-30
	3. Суглинки средние	30 - 45
	4. Суглинки тяжелые	45 - 60
4. Глинистый	1. Глины легкие	60 - 75
	2. Глины средние	75 - 85
	3. Глины тяжелые	85 - 100
5. Илистый	1. И л грубый	100
	2. И л тонкий	100
6. Коллоидный	1. Коллоиды	100

Закономерное увеличение содержаний рудных элементов с уменьшением размеров частиц в пролювио-аллювиальных отложениях и элювио-делювиальных образованиях свидетельствует о большой роли сорбционных и флотационных процессов. Наиболее представительным материалом для опробования при проведении литохимических поисков месторождений полезных ископаемых являются тонкие фракции от коллоидов до супесей. Ранжированный ряд по уменьшению представительности материала для опробования имеет следующий вид: коллоиды - илы - глина - суглинки - супеси - пески. Проведение литохимических поисков по фракциям 0,074 мм и менее способствует обнаружению механических, сорбционно-механических и сорбционных ореолов, фиксирующих как выходящие на дневную поверхность месторождения, так и глубокозалегающие (скрытые, погребенные, скрыто-погребенные).

5130 I.2. Закономерности физико-химической миграции элементов

На больших глубинах Земли, где проходят геолого-геохимические процессы и отсутствуют организмы, находится физико-химическая миграция элементов. В условиях близповерхностных наблюдается бурная деятельность организмов, влияющих на физико-химическую обстановку (щелочность - кислотность, окислительно-восстановительный характер природных вод, их газовый состав и т.п.). Здесь происходит физическая, химическая и биогенная миграция элементов.

Физико-химическая миграция зависит от внешних и внутренних особенностей элемента, т.е. находятся внешние и внутренние факторы миграции. Внутренние факторы объясняются способностью элементов вступать в соединения с другими элементами, сорбироваться коллоидами, образовывать ионы и комплексные ионные соединения равной валентности, давать хорошо растворимые и газообразные сое-



динения и т.д. Эти внутренние свойства элементов тесно связаны со строением внешней электронной оболочки атома. К главным геохимическим параметрам физико-химической миграции элементов следует относить: тип химической связи, электроотрицательность, валентность, атомные веса, размеры ионов и атомов, изоморфизм, ионный потенциал, растворимость, атомную и ионную плотность, энергию ионизации, потенциал ионизации. Характеристика этих параметров подробно описана нами в Методических рекомендациях по статистической и математической обработке геохимических данных (Симферополь, 1986, 172 с.).

На основании геохимических параметров физико-химической миграции элементов мы попытались создать модель вертикальной зональности первичных ореолов и месторождений полезных ископаемых. Для этого сначала рассмотрим характерные элементы гидротермальных рудных месторождений и магматических комплексов (табл.7).

Таблица 7

Характерные элементы для гидротермальных руд и магматических комплексов (по А.Е.Ферману, В.В.Щербине, А.И.Перельману)

Руды и магматические комплексы	Характерные элементы
1	2
1. Гидротермальные руды	$N, Li, Be, B, C, N, O, F, Si, P, S, Cl, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Sz, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, U.$
2. Ультраосновные и основные магматические комплексы.	$Mg, P, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ge, As, Se, Ru, Rh, Rd, Ag, Cd, Sb, Te, Os, Ir, Pt, Au, Bi.$

1	2
3. Гранитные магматические комплексы	<p><i>M, Li, Be, B, F, Na, Al, Si, Cl, K, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Te, Ra, Th, U</i></p>
4. Щелочные магматические комплексы	<p><i>M, Li, Be, B, C, F, Na, Al, P, Cl, K, Ca, Ti, Y, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Te, Th, U.</i></p>
5. Гранитные пегматиты	<p><i>H, Li, Be, B, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, Y, Yb, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Te, Pb, Rn, Tu, U, Th,</i></p>

Из таблицы 7 хорошо видно, что отдельные элементы участвуют в различных геологических процессах. В земной коре 52 элемента образуют катионы, анионы и комплексные ионы, т.е относятся к амфотерным: *Be, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Au, Mg, Pb, C*

B, Bi, As, Th, Pa, U, H ;

13 элементов - катиогенные: *Li, Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Cs, Ba, Ra, Co, Ni, Te* ;

10 элементов - аниогенные : *O, F, Si, P, S, Cl, Sc, V, Te, J* ; и 12 элементов, для которых ионная форма отсутствует или не характерна: *He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, Rh, Pd, Os, Ir, Pt* .

Следовательно, миграцию элементов необходимо рассматривать в ионной форме (катионы, анионы и комплексные соединения в виде катионов и анионов). Так В.В.Щербина считает, что в геохимических процессах элементы образуют фторидные (*Li, Be, B, Al, Si, P, Sc, Ti, V, Y, Zr, As, U, Zr, Nb, Sn, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W* и хлоридные (*Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Re, Os, Pt, Au, Mg, Te, Pb, Bi*) комплексы. Нам представляется, что основным параметром физико-химической миграции элементов является ионная плотность. Чем меньше ионная плотность, тем сильнее миграционные способности элементов. Эта закономерность подтверждается другими физико-химическими параметрами (ионные потенциалы, энергетические константы ионов, электроотрицательность и т.д). Ионная плотность анионов меньше, чем катионов, то есть они обладают большими миграционными способностями. Обобщенная модель физико-химической миграции элементов приведена в таблице 8 и на рисунке 2.

Таблица 8

Модель физико-химической миграции элементов

Наименование зон (снизу вверх средняя ионная плотность $\bar{\alpha}_i$)	Горизонты	Характерные ионы элементов
1	2	3
I. Азотная $\bar{\alpha}_i = 991429$	Подрудный	N^{+5}
II. Йодо-марганце-Подрудный вая $\bar{\alpha}_i = 295172$		$J^{+7}, Mn^{+7}, Ce^{+7}, Bz^{+7}$
III. Теллу ро-цирко- ниевая $\bar{\alpha}_i = 134080$	Рудный	$C^{+4}, Si^{+4}, P^{+5}, S^{+6}, Ti^{+4}, V^{+4},$ $V^{+5}, Cr^{+6}, Mn^{+4}, Yb^{+4}, As^{+5}, Se^{+4},$ $Se^{+6}, Zr^{+4}, Nb^{+4}, Nb^{+5}, Mo^{+4}, Mo^{+6},$ $Ru^{+4}, Rh^{+4}, Pd^{+4}, Sn^{+4}, Sb^{+5}, Te^{+4},$ $Te^{+6}, La^{+4}, Ce^{+4}, Mf^{+4}, Ta^{+5}, W^{+4},$ $W^{+6}, Re^{+6}, Os^{+4}, Ir^{+4}, Pt^{+4}, Pb^{+4},$ $Bi^{+5}, Th^{+4}, Pa^{+4}, U^{+4}, Np^{+4}, Pu^{+4},$ Am^{+4}
IV. Литиево-кали- евая $\bar{\alpha}_i = 44931$	Рудный	$H^{+1}, Li^{+1}, Be^{+2}, B^{+3}, Na^{+1}, Mg^{+2},$ $Al^{+3}, K^{+1}, Ca^{+2}, Sc^{+3}, Ti^{+2}, Ti^{+3},$ $V^{+2}, V^{+3}, Cr^{+2}, Cr^{+3}, Mn^{+2}, Mn^{+3},$ $Fe^{+2}, Fe^{+3}, Co^{+2}, Co^{+3}, Ni^{+2}, Cu^{+1},$ $Cu^{+2}, Zn^{+2}, Ga^{+3}, Ge^{+2}, As^{+3}, Rb^{+1},$ $Sr^{+2}, Y^{+3}, Rh^{+3}, Ag^{+1}, Cd^{+2}, Ir^{+3},$ $Sn^{+2}, Sb^{+3}, Cs^{+1}, Ba^{+2}, La^{+3}, Ce^{+3},$ $Pz^{+3}, Nd^{+3}, Pm^{+3}, Sm^{+3}, Eu^{+3}, Gd^{+3}$

1	2	3
		$Tb^{+3}, Dy^{+3}, Ho^{+3}, Er^{+3}, Tm^{+3}, Yb^{+3},$ $Zu^{+3}, Au^{+1}, Mg^{+1}, Mg^{+2}, Te^{+1}, Te^{+3},$ $Pb^{+2}, Bi^{+3}, Ra^{+2}, Sc^{+3}, Th^{+3}, Pa^{+3},$ $U^{+3}, Np^{+3}, Pu^{+3}, Am^{+3}$
<p>У. Фосфорно-азотная</p> <p>$\bar{\alpha}_i = 2349$</p>	<p>Рудно-надрудный</p>	$C^{-4}, N^{-3}, O^{-2}, F^{-1}, P^{-3}, S^{-2},$ $Cl^{-1}, As^{-3}, Se^{-2}, Br^{-1}, Sb^{-3}, Te^{-2},$ J^{-1}, Bi^{-3}
<p>УІ. Неоно-гелиевая</p> <p>$\bar{\alpha}_i = 1731$</p>	<p>Надрудный</p>	$He^0, Ne^0, Ar^0, Xe^0, Kr^0, Rn^0,$ <p>и др. газы.</p>
<p>УІІ. Углеродно-водородная</p> <p>$\bar{\alpha}_i = 130$</p>	<p>Надрудный</p>	C^{-4}, H^{-1}

Модель физико-химической миграции элементов имеет теоретическое и практическое значение. По количественным параметрам нами разработана классификация химических элементов по физико-химической миграции (табл.9).

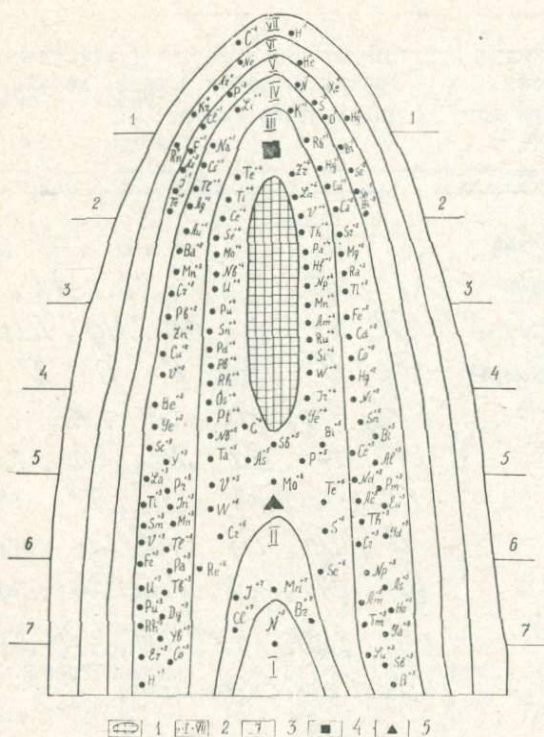


Рис. 2. Модель вертикальной зональности первичных ореолов и месторождений полезных ископаемых

I - месторождение; 2 - зоны: I - азотная ($\bar{a}_i = 991429$); II - йодо-марганцевая ($\bar{a}_i = 295172$); III - теллури-циркониевая ($\bar{a}_i = 134080$); IV - литиево-калиевая ($\bar{a}_i = 44931$); V - фосфорно-азотная ($\bar{a}_i = 2349$); VI - неон-гелиевая ($\bar{a}_i = 1731$); VII - углеродно-водородная ($\bar{a}_i = 130$); 3 - горизонты; 4 - легкие изотопы; 5 - тяжелые изотопы.

Классификация химических элементов по физико-химической миграции

Класс подвижности химических элементов	Молекулы, атомы и ионы, характерные для данного класса	
	1	2
1. Суперподвижные (газообразные элементы, комплексы и соединения)		$C, H^{-1}, N, He, C, N, O, F, Ne, P, S, Cl, Ar, Se, Br, Kr, J, Xe, Hg, Rn, Li, Be, B, Na, K, Ti, V, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Nb, Mo, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ta, W, Au, Tl, Pb, Bi, U, O_2, O_3, NO_2, J_2, H_2O_2, NO, H_2S, H_2, H_2Se, NH_3, N_2, N_2O, CO, CO_2, H_2O, HCl, HF, SO_2, SO_3, CH_4, C_2H_6, C_4H_{10}, C_2H_4$ и др.
2. Высокоподвижные (анионы, анионные соединения и комплексы $A^{-1}, A^{-2}, A^{-3}, A^{-4}$).	$Cl^{-1}, J^{-1}, Br^{-1}, F^{-1}, S^{-2}, O^{-2}, Se^{-2}, Te^{-2}, N^{-3}, P^{-3}, Sb^{-3}, Bi^{-3}, As^{-3}$ и др.	

3. Средне подвижные (катионы, катионные соединения и комплексы K^{+1}, K^{+2} и K^{+3})	1		2	
			$H^{+1}, Li^{+1}, Be^{+2}, B^{+3}, Na^{+1}, Mg^{+2}, Al^{+3}, K^{+1}, Ca^{+2}, Sc^{+3}, Ti^{+2}, Ti^{+3}, V^{+2}, V^{+3}, Cr^{+2}, Cr^{+3}, Mn^{+2}, Mn^{+3}, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Co^{+2}, Co^{+3}, Ni^{+2}, Cu^{+1}, Cu^{+2}, Zn^{+2}, Ga^{+3}, Ge^{+2}, As^{+3}, Rb^{+1}, Sr^{+2}, Y^{+3}, Rh^{+3}, Ag^{+1}, Cd^{+2}, In^{+3}, Sn^{+2}, Sb^{+3}, Cs^{+1}, Ba^{+2}, La^{+3}, Ce^{+3}, Pr^{+3}, Nd^{+3}, Pm^{+3}, Sm^{+3}, Eu^{+3}, Gd^{+3}, Tb^{+3}, Dy^{+3}, Ho^{+3}, Er^{+3}, Tm^{+3}, Yb^{+3}, Lu^{+3}, Au^{+1}, Hg^{+1}, Mg^{+2}, Tl^{+1}, Tl^{+3}, Pb^{+2}, Bi^{+3}, Po^{+2}, Ac^{+3}, Th^{+3}, Pa^{+3}, U^{+3}, Np^{+3}, Pu^{+3}, Am^{+3}$	
				и др.
4. Низкоподвижные (катионы, катионные соединения и комплексы K^{+4}, K^{+5}, K^{+6}).		$C^{+4}, Si^{+4}, P^{+5}, S^{+6}, Ti^{+4}, V^{+4}, V^{+5}, Cr^{+6}, Mn^{+4}, Ge^{+4}, As^{+5}, Se^{+4}, Se^{+6}, Zr^{+4}, Nb^{+4}, Nb^{+5}, Mo^{+4}, Mo^{+6}, Ru^{+4}, Rh^{+4}, Pd^{+4}, Sn^{+4}, Sb^{+5}, Te^{+4}, Te^{+6}, La^{+4}, Ce^{+4}, Hf^{+4}, Ta^{+5}, W^{+4}, W^{+6}, Re^{+6}, Os^{+4}, Ir^{+4}, Pt^{+4}, Pb^{+4}, Bi^{+5}, Th^{+4}, Pa^{+4}, U^{+4}, Np^{+4}, Pu^{+4}, Am^{+4}$		и др.
5. Неподвижные (катионы, катионные соединения и комплексы K^{+7}).		$Cl^{+7}, Mn^{+7}, Br^{+7}, J^{+7}$		и др.
6. Супернеподвижные		N^{+5}		

Из таблицы видно, что наибольшей подвижностью обладают газообразные и анионные соединения и комплексы. Катионы с валентностью от I до 3 имеют щелочные свойства, а катионы с валентностью от 4 до 7 - кислотные. Подвижность катионов уменьшается с увеличением валентности. Такой же зависимостью связана подвижность химических элементов с ионной плотностью. С возрастанием валентности увеличивается ионная плотность и уменьшается физико-химическая миграция элементов.

Ртуть образует различные комплексные соединения. В природе находится большое количество ее форм. По физико-химической миграции ртути нами выделено 3 класса соединений и комплексов:

- 1) суперподвижные (ультраподвижные) газообразные;
- 2) высокоподвижные; 3) среднеподвижные (табл. 10)

Таблица 10

Классификация ртути по физико-химической миграции

Классы и группы подвижности ртути	Атомы и ионы, характерные для класса или группы
1. Суперподвижные (ультраподвижные) газообразные соединения и комплексы	H^0 , атомарные соединения и комплексы
2. Высокоподвижные анионные соединения и комплексы:	Hg^{-1}, Hg^{-2} анионные соединения и комплексы
2.1. первой группы	Hg^{-2}
2.2. второй группы	Hg^{-1}
3. Среднеподвижные катионные соединения и комплексы:	Hg^{+1}, Hg^{+2} катионные соединения и комплексы
3.1. первой группы	Hg^{+2}
3.2. второй группы	Hg^{+2}

Закономерности физико-химических миграций химических элементов свидетельствуют о том, что вокруг рудных тел и месторождений находятся атмохимические, гидрохимические и литохимические ореолы. Последние во много раз превосходят месторождения. Это является благоприятной предпосылкой для геохимических поисков месторождений полезных ископаемых.

1.3. Общие особенности миграции газов

Химические элементы, для которых в земной коре характерны газообразные соединения, разделяются на 2 группы:

1) элементы, находящиеся во всех системах земной коры (биосфере, гидротермальных, метаморфических и магматических системах): $H, He, C, N, O, F, Ne, P, S, Cl, Ar, Se, Br, Kr, I, Xe, Mg, Rn$;

2) элементы, характерные для глубоких частей земной коры (гидротермальных, метаморфических и магматических систем): $Li, Be, B, Na, K, Ti, V, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Nb, Mo, Cd, In, Sr, Sb, Te, Cs, Ta, W, Au, Pb, Bi, U$.

В 1937 г. В.В.Белусов предложил генетическую классификацию газов (воздушного, биохимического, химического и радиоактивного происхождения). Для зоны гипергенеза А.И.Перельман разработал геохимическую классификацию газов:

А. Активные газы

1. Неорганические газы. Окислители (некоторые влияют и на щелочно-кислотные условия): $O_2, O_3, NO_2, I_2, H_2O_2, NO$.

Восстановители (некоторые влияют и на щелочно-кислотные условия): $H_2S, H_2, H_2Se, NH_3, N_2, N_2O, CO, Hg$.

Полярные газы, влияющие преимущественно на щелочно-кислотные условия среды (некоторые влияют и на окислительно-восстановитель-

ные условия): CO_2 , H_2O , HCl , HF , SO_2 , SO_3 .

2. Органические газы: углеводороды и их производные: CH_4 , C_2H_6 , C_4H_{10} , C_2H_4 и другие, сложные летучие органические соединения, выделяемые микроорганизмами, растениями и животными (в том числе элементо-органические соединения).

Б. Пассивные газы (инертные): Ar , He , Ne , Kr , Xe , Rn .

В земной коре газы находятся в 4-х основных формах:

- 1) свободная (в надземной и подземной атмосфере);
- 2) растворенная в водах, расплавах и нефти;
- 3) адсорбированная горными породами;
- 4) окклюдируемая горными породами.

Газы обладают высокой подвижностью. Они мигрируют интенсивнее, чем вещества в жидком и твердом состоянии. Активные газы с высокими концентрациями являются ведущими: O_2 , CO_2 , водяной пар (H_2O), H_2S и H_2 . Растворяясь в воде они создают определенные условия для миграции многих химических элементов. Газы образуются при физико-химических, биогенных и техногенных процессах. Мигрируют газы путем фильтрации и в меньшей степени - диффузии.

Высокая миграционная способность газов определяет их фильтрацию и диффузию далеко за пределы залежей, рудных тел и месторождений. Вокруг месторождений находятся газовые ореолы, размеры которых по вертикали достигают нескольких тысяч метров. Известны первичные и вторичные газовые ореолы. Размеры их значительно превышают литохимические и гидрохимические ореолы. Поэтому, разработаны и совершенствуются геохимические методы поисков месторождений нефти, газа, алмаза и рудных полезных ископаемых. В земной коре наблюдается диффузия газа в воде, в другом газе, в породе, нефти. Коэффициент диффузии (D) одного газа в другом ко-

леблется от 0,08 до 0,23 см²/с, максимальное значение D для водорода в гелий = 0,7 см²/с. При диффузии газа в воде $D = 2,2 \times 10^{-5}$ см²/с, а в породе $D = 10^{-9}$ см²/с. Интенсивность фильтрации газов при высокой проницаемости горных пород = 3000 см³/м² в сутки и выше, при низкой проницаемости - 3000 - 30 см³/м². Скорость диффузии газов через воду составляет 0,6 см³/м² в сутки, а через насыщенные водой горные породы - 0,01 - 0,1 см³/м² (А.И.Перельман, 1979). При диффузии и фильтрации газов проходят сорбционные процессы, т.е. часть их сорбируется в горных породах, элювио-делювиальных образованиях и пролювио-аллювиальных отложениях. Сорбция зависит от температуры и давления. Количество сорбированного газа в 1 кг осадочных пород обычно колеблется от десятых долей до нескольких кубических сантиметров. Максимальной сорбционной емкостью обладают каменные угли (при нормальном давлении до $n \times 10^3$ см³/кг). Осадочные породы сорбируют ≤ 600 см³/кг, при этом глины сорбируют больше, чем пески и известняки. Органическое вещество значительно увеличивает сорбционные способности осадочных пород. У изверженных и метаморфических пород сорбционная емкость меньше, чем у осадочных пород. Сорбция газов растет с увеличением их молекулярной массы. С ростом температуры сорбция газов уменьшается. С увеличением давления сорбция растет в соответствии с уравнением изотермы адсорбции Лангмюра:

$$\frac{x}{m} = \frac{\alpha \cdot v \cdot P}{1 + v \cdot P}$$

где: x - валовое количество газа, сорбированное m граммами горной породы; P - давление газа, α и v - константы.

Давление влияет существенно на сорбцию газов. В глубоких зонах интенсивность сорбции увеличивается.

Химические элементы, мигрирующие в газовой фазе сорбируются горными породами, элювио-делювиальными образованиями и пролювио-аллювиальными отложениями. Это создает благоприятные условия для поисков месторождений полезных ископаемых литохимическими методами.

1.4. Общие закономерности водной миграции химических элементов

Океаны и моря занимают 71% поверхности Земли. Водные растворы пронизывают верхнюю часть литосферы. Гидросфера Земли - это природные воды, связанные между собой и находящиеся в движении и обновлении. Круговорот воды, вызванный притоком солнечной радиоактивной и других видов энергии определяет неравновесность гидросферы и непрерывность водной миграции. У воды аномальные физико-химические параметры: теплоемкость, скрытая теплота плавления и испарения, поверхностное натяжение и диэлектрическая постоянная. Большое влияние на водную миграцию оказывает высокое значение диэлектрической постоянной воды. При комнатной температуре она =80. Следовательно, в воде сила взаимодействия между ионами в 80 раз меньше, чем в кристалле. Этим объясняется ионизация растворенных веществ, т.е. образование ионов Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{++} и др.

Л.Н.Овчинников и В.А.Масалович выделяют 7 особых температурных точек воды, отвечающих ее структурным превращениям: 4, 40, 85, 165, 225, 340 и $> 400^{\circ}C$. А.И.Перельман предложил ориентировочную классификацию систем водной миграции по температурным условиям:

А. Гипергенные системы:

A_1 - криогенные (ниже $0^{\circ}C$);

A_2 - собственно гипергенные ($0 - 40^{\circ}C$);

Б. Гидротермальные системы:

- Б₁ - биокосные эпитермальные с деятельностью термофильных и других бактерий (40 - 100°С);
- Б₂ - абиогенные эпитермальные (100 - 200°С);
- Б₃ - мезотермальные (200 - 300°С);
- Б₄ - гипотермальные (300 - 500°С).

В литосфере находится свободная, связанная и поровая вода. Большая часть подземных вод относится к паровым. В глинах их количество приблизительно составляет $1,1 \times 10^{22}$ г, что соответствует слою воды на суше мощностью в 66 м. Поровые воды малоподвижны, поэтому они взаимодействуя с вмещающими породами активно участвуют в геохимических процессах. Для этих вод характерны диффузия и фильтрация.

Воды содержат растворенные газы, ионы, коллоиды, недиссоциированные молекулы. Среди газов наибольшую роль в водах играют O_2 , CO_2 , H_2S , в меньшей мере - He , Ar , Ne , Kr , Xe , Rn , H_2 , CO , N_2 , и тяжелые углеводороды. По количеству растворенных минеральных веществ природные воды делятся на 5 типов:

ультрапресные ($< 0,1$ г/кг), пресные (0,1 - 1 г/кг), солоноватые (1 - 25 г/кг), с морской соленостью (25 - 50 г/кг), рассолы (более 50 г/кг) (А.И. Перельман). В водах зоны гипергенеза преобладают 6 ионов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Многие воды содержат органические соединения, с которыми металлы образуют растворимые соединения. Молекулы органического вещества (хелаты) как бы захватывают неорганические ионы Fe , Zn , Cu и других металлов. Миграция металлов в органо-минеральной форме является благоприятной для геохимических поисков. Так, в зоне гипергенеза минеральные формы золота малоподвижны, а в органо-

минеральной - оно мигрирует. Среднее содержание органического углерода (C_{org}) в подземных водах близко к 50 мг/л. По данным В. М. Швеца количество органических веществ в подземных водах земного шара составляет $2,5 \times 10^{12}$ т и более.

В водах химические элементы мигрируют в виде ионов, комплексных соединений и коллоидов. На контакте вод с сорбентами из вод могут сорбироваться $Ca, K, Mg, P, S, Rb, V, Cs, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, U, As, Mo, Hg, Ra$ и другие элементы. За счет сорбции происходит обогащение илов, глин, почв, гидроокислов железа и марганца, гумусовых и органических веществ рудными элементами. Это создает благоприятные условия для проведения литохимических поисков рудных месторождений. Миграция элементов в воде зависит от физико-химических условий (pH, Eh), от процессов окисления и электрохимического растворения. Большую роль в выборе геохимического метода поисков имеет произведение растворимости (ПР), т.е. произведение молярных концентраций (активностей) ионов минерала в его насыщенном растворе. Эта величина является постоянной. Так, для ртутных соединений ПР равно (при $25^{\circ}C$): сульфат $Hg_2SO_4 - 5 \times 10^{-7}$; карбонат $-Hg_2CO_3 - 9 \times 10^{-17}$; сульфид $HgS - 4 \times 10^{-53}$. В природных условиях ртуть находится в виде сульфидов, поэтому для поисков ртутных месторождений могут быть рекомендованы литохимические и шлихо-геохимические методы поисков. Из всех сульфидов ртутные соединения обладают наименьшими величинами произведений растворимости: HgS (красного цвета) = 4×10^{-53} ; HgS (черного цвета) = $1,6 \times 10^{-50}$; $Ags_2S = 6,3 \times 10^{-50}$; Cu_2S ($1,2 \times 10^{-49}$ $2,5 \times 10^{-48}$); $CuS = 6,3 \times 10^{-36}$; $PbS = 2,5 \times 10^{-27}$; $CdS = 7,9 \times 10^{-27}$; $SnS = 1,0 \times 10^{-25}$; $\alpha CoS = 4,0 \times 10^{-21}$; $\beta CoS = 2,0 \times 10^{-25}$; $\alpha NiS = 3,2 \times 10^{-19}$; $\beta NiS = 1 \times 10^{-24}$; $\gamma NiS = 2 \times 10^{-26}$;

ZnS (сфалерит) = $1,6 \times 10^{-24}$; ZnS (вурцит) = $2,5 \times 10^{-22}$;
 PbS = 5×10^{-21} ; FeS = $3,2 \times 10^{-18}$; MnS (зеленого цвета)
 $2,5 \times 10^{-13}$; MnS (розового цвета) = $2,5 \times 10^{-10}$ (В.В.Щер-
 бина, 1970).

I.5. Общие особенности биогенной миграции химических элементов

Биосфера - чрезвычайно сложная система. В ее состав входят тропосфера, весь Мировой океан, часть литосферы (до глубины с температурой $100^{\circ}C$), ограничивающих деятельность бактерий. Биосфера - это часть земной коры, в которой наблюдается геохимическая деятельность организмов. Согласно закона В.И.Вернадского, миграция химических элементов в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция) или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2S и т.д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало в биосфере в течение геологической истории. В формировании биосферы большую роль играют солнечная энергия, поднятия и опускания земной коры, горообразование, ледникообразование и т.д.

Главными факторами, определяющими единство и целостность биосферы являются биологический круговорот атомов и круговорот воды. Оба фактора обусловлены источником энергии за счет излучения Солнца. Круговорот воды производит механическую работу, а

биологический круговорот — химическую. Вода, кроме механической работы выполняет и химическую (растворение, выветривание и т.д.). Только химическая работа осуществляется при участии живого вещества, т.е за счет организмов, находящихся в водах или продуктах их жизнедеятельности (CO_2 , гумуса и других химически активных веществ). Живые вещества являются аккумуляторами солнечной энергии. Аккумуляторами солнечной энергии являются также сульфиды, арсениды и т.д. В зоне окисления заключенная в них энергия выделяется. Поэтому, на участках окисления арсенидных руд повышается температура, увеличивается объем рудной массы. Энергия выделяется и в химической форме, так как при окислении шмальтин-хлорантита образуется мышьяковая кислота, разрушающая вмещающие породы. Совершается при этом и механическая работа. Так в горных выработках, при окислении арсенидных руд, нарушаются откаточные пути (шпалы и рельсы поднимаются и перекашиваются).

Солнечная энергия расходуется и на дробление твердого вещества, увеличение его поверхности. В биосфере твердое вещество очень часто находится в тонкодисперсном состоянии (илы, глины, супеси, суглинки, пески и т.д.). Вещества в коллоидном и тонкодисперсном состоянии обладают большой поверхностной энергией. С последней связана сорбция химических элементов, играющая большую роль во многих биокосных системах. Геохимическое своеобразие биокосных систем определяется сочетанием биогенной, физико-химической и механической миграции. Системы различаются по уровням организации: 1) низкий (почвы, илы, коры выветривания, водоносные горизонты); 2) средний (ландшафты); 3) высокий (артезианские бассейны, моря и океаны); 4) ультравысокий — супервысокий (биосфера в целом).

Создателем науки о почве как о биокосной системе является

В. В. Докучаев. Почва представляет собой область наивысшей геохимической энергии живого вещества. Это верхний горизонт литосферы, который участвует в биологическом круговороте при участии растений, животных и микроорганизмов, Грандиозную роль в почве играют микроорганизмы. В 1 г почвы содержатся миллионы и миллиарды микроорганизмов. Геохимическая сущность почвообразования - разложение микроорганизмами органических веществ. Количество органического вещества, разлагающегося в почве за год, свидетельствует об интенсивности почвообразования. Почвы - это особо неравновесные, чрезвычайно динамические биокосные системы. Разлагая остатки растений и животных, микроорганизмы поставляют в почвенные растворы CO_2 , органические кислоты и другие сложные органические соединения. Почвенные растворы делают химически высокоактивными. Чем больше ежегодно разлагается органического вещества, тем богаче почва химически работоспособной энергией. Это делает почву весьма неравновесной системой.

Илы - неравновесные динамические биокосные системы, богатые свободной энергией. Илы содержат органические остатки, живые организмы (илеи и т. д.) и большое количество микроорганизмов. Илообразование, как и почвообразование, заключается в разложении органических веществ при определенных физико-химических условиях. А. И. Перельман выделяет 3 ряда илов: окислительный, глеевый и сероводородный.

Кора выветривания является слабо выраженной биокосной системой (по сравнению с почвами и илами), в которой микроорганизмы окисляют органические соединения поступающие из почвы. Корой выветривания (или элювием) называют рыхлые продукты изменения горных пород, образующиеся под почвой за счет поступающих из нее растворов. Во влажном и жарком климате при равнинном или слабо-

всхолмленном рельефе и спокойном тектоническом режиме создаются условия для образования коры выветривания. Кора выветривания — область широкого развития процессов окисления. В ней находятся Fe^{+3} , Mn^{+4} , S^{+6} , гидратная, кристаллизационная и другая вода (во вторичных минералах).

Водоносные горизонты также могут быть биокосными системами, так как их химизм связан с деятельностью бактерий. Последние широко распространены в водах. Бактерии обнаружены в пластовых водах на глубине нескольких тысяч метров и в слаботермальных водах (до 80–100°C).

В различных ландшафтных условиях растут определенные виды растений. Последние способны концентрировать химические элементы. Корни растений поглощают элементы из нижних горизонтов почвы и перемещают их в верхние. Происходит накопление элементов в гумусовом горизонте почвы. Отдельные виды растений произрастают только над определенными рудами и месторождениями — это универсальные геоботанические индикаторы. Другие поглощают микроэлементы и начинают болеть, то есть наблюдаются патологические и тератологические новообразования у растений. По этим новообразованиям можно осуществлять поиски месторождений полезных ископаемых.

Средний элементарный состав живого вещества по А.П.Виноградову (1954):

1) Микроэлементы ($п \times 10^{-3}$ — $п \times 10^0$). А) Воздушные мигранты (98,8%): O — 70; C — 18; H — 10,5; N — 0,3. Б) Водные мигранты (1,21%): Ca — 0,5; Mg — 0,04; Na — 0,02; K — 0,3; P — 0,07; Cl — 0,02; Si — 0,2; S — 0,05; Fe — 0,02.

2) Микроэлементы (водные мигранты $п \times 10^{-3}$ — $п \times 10^{-5}$)

Al — 5×10^{-3}

Zn — 5×10^{-4}

Pb — 5×10^{-5}

$Ba - 3 \times 10^{-3}$	$Rb - 5 \times 10^{-4}$	$Sr - 5 \times 10^{-5}$
$Sz - 2 \times 10^{-3}$	$Cu - 2 \times 10^{-4}$	$As - 3 \times 10^{-5}$
$Mn - 1 \times 10^{-3}$	$V - п \times 10^{-4}$	$Co - 2 \times 10^{-5}$
$B - 1 \times 10^{-3}$	$Cz - п \times 10^{-4}$	$Zi - 1 \times 10^{-5}$
$Th - п \times 10^{-3}$	$Bz - 1,5 \times 10^{-4}$	$Mo - 1 \times 10^{-5}$
$Ti - 8 \times 10^{-4}$	$Ye - п \times 10^{-4}$	$Cs - 1 \times 10^{-5}$
$F - 5 \times 10^{-4}$	$Ni - 5 \times 10^{-5}$	

3) Ультрамикрэлементы; $Se < 10^{-6}$; $U < 10^{-6}$; $Hg - п \times 10^{-7}$;
 $Ra - п \times 10^{-12}$.

4) Обнаруженные в организмах, но нет данных о среднем содержании:
 $Me, Be, Ne, Nz, Sc, Ga, Kz, Zz, Nb, Rk, Pd, Ag, Cd, In, Sb, Te, J, Xe, Ta, W, Al, Te, Bi, Th$.

5) Не обнаружены с достоверностью в организмах: $Rn, Hf, Re, Os, Jz, Po, Ac, Tc, At, Fz$, (последние 3 не обнаружены в земной коре).

Общие особенности биогенной миграции химических элементов свидетельствуют о возможности поисков месторождений полезных ископаемых различными методами: биогеохимическим, геоботаническим, тератологическим (патологическим), микробиологическим, литохимическим по почвам и илам, гидрохимическим и т.д.

Особый интерес представляют следующие методы: микробиологический атмо и гидрохимический по выделяемым растениями газам и воде, гидрохимический по поровым водам, литохимический по коллоидным соединениям и т.д.

2. МЕТОДИКА ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНСКОЙ С С Р

По геологическим и ландшафтно-геохимическим условиям территории Украинской ССР можно разделить на 3 части: 1) северо-восточную (обрамление); 2) центральную (УКЦ) и 3) Юго-западную (обрамление). Во всех частях нами проведены литохимические исследования, показавшие высокую их эффективность.

2.1. Комплексование литохимических поисков по потокам рассеяния с гидрогеохимическим, шлиховым и шлихо-геохимическим методами

При поисках ртутных месторождений на территории Украинской ССР не рекомендуется комплексовать литохимические поиски по потокам рассеяния с другими методами. Этот метод является эффективным, прогрессивным и дешевым. Литохимический метод по потокам рассеяния применим при поисках как выходящих на дневную поверхность, так и глубокозалегающих ртутных руд, приуроченных к антиклинальным или солянокупольным структурам. Метод имеет большие преимущества по сравнению со шлиховым, шлихо-геохимическим и гидрохимическим методами.

Летучесть ртути способствует образованию эндогенных ореолов больших размеров. На ртутных полях Донбасса общая протяженность ореолов по восстанию превышает 1,6 км (Захаров Е.П., 1986). По данным Н.А.Озеровой и В.П.Федорчука ореолы ртути могут развиваться по восстанию на 0,8-5,0 км. Вторичные литохимические ореолы ртути формируются за счет первичных (эндогенных) ореолов. В последних ртуть находится в виде киновари, самородной ртути и других соединений. Различные соединения киновари не могут быть

обнаружены по определениям киновари в шлихах. Мелкие частички киновари образуются в потоках за счет ее хрупкости и состояния в виде примазок по трещинам и налетов в донбассите, куккеите, кальците, каолинах. Эти частички не поддаются минералогическим исследованиям. При разрушении эндогенных ореолов образуются механические потоки. Киноварь разрушается на мельчайшие частички, достигающие размера менее 0,074 мм (200 меш). При шлиховании происходят потери киновари. Потери обусловлены следующими причинами: 1) мельчайшие зерна киновари образуют вместе с глинистым и илистым обволакивающим материалом общий агрегат невысокого удельного веса, который легко уходит с промывочного прибора; 2) мельчайшие зерна киновари, свободные от обволакивающей корки (глинистой или илистой) флотируются в образующейся илистой или глинистой суспензии и также уходят из прибора.

Мельчайшие частички киновари сорбируются глинисто-илистым материалом. Об этом свидетельствует фактический материал, полученный нами по ситовому анализу 5 проб донных осадков, отобранных по балке Большая Грузская через 40 м (табл. II).

Из таблицы видно, что наивысшее содержание ртути $422,5 \cdot 10^{-7}\%$ во фракциях менее 0,056 мм.

Сильное истирание киновари в естественных условиях подтверждается и данными буровых работ. При бурении всегда наблюдается более высокое содержание ртути в шламе, чем в керне. Особенно это характерно в трещиноватых зонах, где происходит избирательное истирание.

Киноварь очень трудно поддается окислению и электрохимическому растворению. При этом, часть ртути переходит в подземные воды и мигрирует. В месте выхода восходящих источников и смешении подземных и поверхностных вод происходит изменение физико-

Таблица II

Среднее содержание ртути в различных классах донных отложений

Сито, мм	Класс, мм	Средний выход класса, %	Среднее содержание ртути в п. 10^{-7} %
2,0	+2,0	13,82	285,0
1,0	-2,0 +1,0	7,32	265,0
0,5	-1,0 +0,5	19,40	199,0
0,25	-0,5 +0,25	22,86	240,5
0,1	-0,25 +0,1	20,29	217,5
0,056	-0,1 +0,056	8,06	342,0
-	-0,056	8,25	422,0

химических условий и сорбция ртути глинисто-илистыми отложениями, особенно обогащенных органическими веществами. Поэтому литохимический метод обладает большими преимуществами по сравнению с гидрохимическим. Они заключаются в следующем: 1) меньшие трудозатраты; 2) высокая эффективность; 3) оперативность в проведении полевых и лабораторных работ.

Литохимический метод поисков по потокам рассеяния имеет ряд преимуществ по сравнению со шлиховым и шлихо-геохимическим методами. Во-первых он менее трудоемок. Для обеспечения выхода шлиха (10-15 г) из каждой пробы требуется промывка 30-32 кг отложений при составе отряда 4-6 человек. При этом проходятся шурфы и закопашки глубиной 0,5 - 1,0 м и отбираются пробы из русел объемом 0,02 м³, а из закопашек - 0,05 м³ (М.И.Ициксон, 1953 г.).

При поисках по потокам рассеяния работы проводятся бригадой из 2-х человек. Масса одной пробы не превышает 50 г. Литохимическим методом можно опосковать большие территории по небольшому количеству проб.

При проведении поисковых работ на редкие металлы, кобальто-никелевые арсенидные и другие типы руд в условиях УКЩ рекомендуется комплексировать литохимический и гидрохимический методы. На новых, больших площадях Северо-восточного и Юго-западного обрамлений УКЩ, где могут быть обнаружены как ртутные, так и другие типы руд, также рекомендуется комплексировать литохимический и гидрохимический методы по потокам рассеяния.

2.2. Отбор, обработка и хранение литохимических проб

Литохимические поиски по потокам рассеяния проводятся в масштабе 1:200000 - 1:50000. Опробование осуществляется равномерно по всей площади. Пробы отбирают по сети маршрутов. Густота последних зависит от степени эрозионного расчленения местности и от масштаба работ. Согласно инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений 1983 г. плотность пробоотбора при литохимических поисках по потокам рассеяния варьирует от 1 до 8 проб на 1 км² (табл.12).

Для разных частей территории Украинской ССР нами рекомендуется различная плотность пробоотбора при литохимических и гидрохимических поисках (табл.13, 14).

В пробу должен отбираться илистый, глинистый, илисто-глинистый, глинисто-илистый, песчано-глинистый или песчано-илистый материал. На территории Украинской ССР находится большое количество искусственных ставков и прудов. Для целей геохимических поисков месторождений полезных ископаемых отбор в них

Таблица 12

Плотность отбора проб при литохимических поисках по потокам рассеяния

Масштаб	С е т ь		Плотность пробоотбора, проб на I км ²
	Среднее расстояние между опробуемыми руслами, км	Расстояние между точками пробоотбора по руслу, км	
I: 200000	2	0,50	I
I: 100000	I	0,25	4
I: 50000	0,5 - 0,7	0,05 - 0,25	8

Таблица 13

Плотность опробования при литохимических поисках по потокам рассеяния на территории Украинской ССР

Масштаб поисковых работ	Количество проб на I км ² площади литохимических поисков по потокам рассеяния на различных частях территории Украинской ССР		
	Северо-восточная часть обрамления УКЩ	У К Щ	Юго-западная часть обрамления УКЩ
I: 200000	2	5	I
I: 100000	8	10	4
I: 50000	16	20	8

Таблица I4

Плотность опробования при гидрохимических поисках по потокам рассеяния на территории Украинской ССР

Масштаб поисковых работ	Количество проб на 1 км ² площадей гидрохимических поисков по потокам рассеяния на различных частях территории Украинской ССР		
	Северо-восточная часть обрамления УкЩ	У К Щ	Юго-западная часть обрамления УкЩ
I : 200000	0,4	1	0,2
I : 100000	1	2	0,6
I : 50000	2	4	2

литохимических и гидрохимических проб не рекомендуется (рис.3). Пробы литохимические и шлиховые в одной точке наблюдения должны отбираться из разных мест, т.е в донную пробу должен браться илистый или глинистый материал, а в шлиховую – песчаный (рис.4).

Литохимические пробы по донным отложениям должны отбираться по всем водотокам, ручьям и балкам с одинаковым шагом (рис.5).

При выявлении литохимического потока рассеяния ртути или другого элемента должно быть выполнено обследование его и контрольное опробование. Если аномалия подтверждается, то проводится следующая стадия геохимических исследований: литохимические поиски по элювио-делювиальным образованиям и коренным породам.

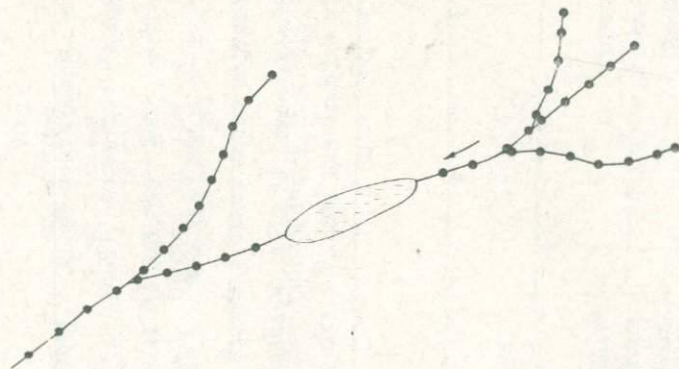


Рис.3. Схема отбора литохимических проб из пролювио-аллювиальных отложений на территории с искусственными прудами (ставками)

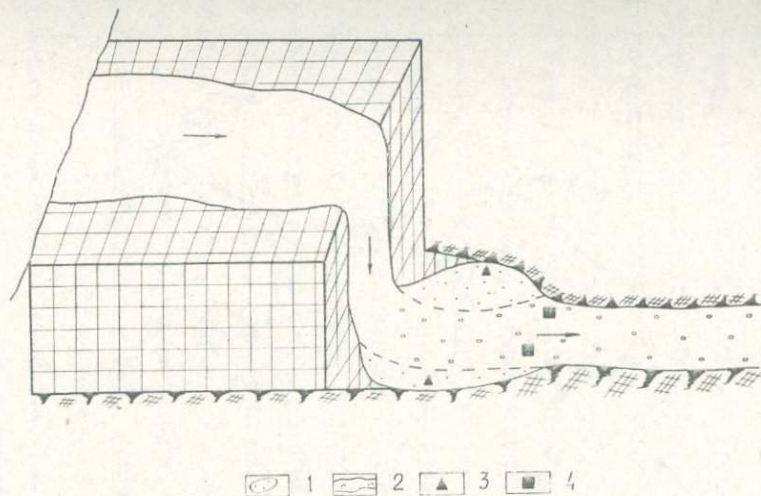


Рис.4. Схема отбора литохимических и шлиховых проб в одной точке наблюдения:
1 - глинисто-илистые отложения; 2 - песчаные отложения; 3 - литохимическая проба; 4 - шлиховая проба.

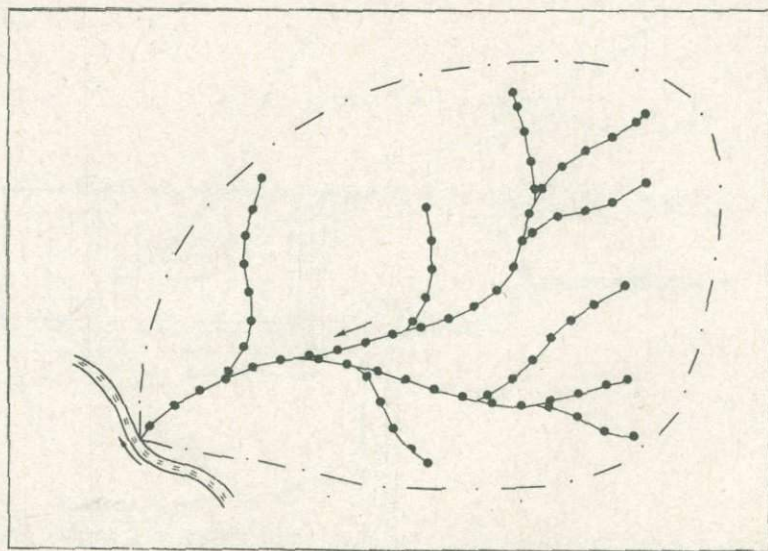


Рис. 5. Схема отбора литохимических проб в одном бассейне

Литохимические поиски по элювио-делювиальным образованиям осуществлялись в профильном и площадном вариантах. В профильном варианте была принята сеть 0,4 - 1,0 км x 20 м, а в площадном в зависимости от масштаба поисков. При поисках масштаба 1 : 25000 (250 x 20 м), масштаба 1 : 10000 (100 x 20) и 1 : 5000 (50 x 10-20 м). Пробы, отбираемые с глубины 5 - 30 см сушились, просеивались и истирались, затем подвергались анализу.

Литохимические поиски по коренным породам выполнялись путем отбора проб методом пунктирной борозды по скважинам, поверхностным выработкам и обнажениям. Интервал, характеризующийся одной пробой, не превышал 5 м. Проба весом 100-200 г состояла из 10-12 сколков, примерно одинакового объема. Каждая проба характеризует породы одинакового литологического состава. В тектонических зонах и зонах околорудно-измененных пород интервал опробования уменьшался до 1-2 м и менее. После дробления, квартования и истирания пробы направлялись на анализ.

Новые данные по отбору проб. Для отработки новой методики выполнен в большом объеме ситовой анализ проб, отобранных в разных регионах СССР. Выход фракций из элювио-делювиальных образований различных ртутнорудных полей Донбасса приведен в таблице 15. Для атомно-абсорбционного определения ртути и полного спектрального анализа требуется 1-5 г материала. Поэтому выход фракции -0,056 (-0,074) мм в количестве 3-4% достаточен при исходном весе литохимических проб 50-150 г. По 7 фракциям литохимических проб произведен полный спектральный анализ, а затем вычислено среднее содержание (табл.16) элементов в различных фракциях. Выявлены некоторые закономерности распределения химических элементов в различных фракциях почв. На всех ртутнорудных полях наблюдается увеличение содержания химических элемен-

Таблица 15

Выход фракций из элювио-делювиальных образований различных ртутнорудных участков

Участок	Геохимическое поле	Кол-во проб	Ф р а к ц и и						
			+2	+1	+0,5	+0,25	+0,1	+0,074	-0,074
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Выход фракций в %

48

I. Донбасс:

Никитовское рудное поле, участок Черный Буфор	1. Аномальное	104	32	17	18	14	12	3	4
	2. Фоновое	64	30	18	19	14	12	3	4
	Всего	168	32	18	19	13	11	3	4
Дружковско-Константиновское рудное поле, участок Константиновский	1. Аномальное	80	25,1	13,2	18,0	18,1	15,2	7,2	3,2
	2. Фоновое	30	30,3	17,0	15,8	13,0	12,5	7,7	3,7
	Всего	110	28,0	15,4	16,7	15,2	13,7	7,5	3,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Славянское руд- ное поле, Центральный участок	I. Аномальное и фоновое	105	35	18	17	13	10	3	4	
II. Закарпатье, участки:										
1. Боркут	Аномальное	15	50,8	6,1	18,4	8,2	7,0	6,3	3,2	
2. Большой Шоян	Аномальное	50	38,9	4,5	18,8	9,2	6,7	12,2	9,7	
3. Грендеш	Аномальное	17	50,8	5,6	17,8	8,3	6,2	7,1	4,2	
III. Крым, участки:										
1. Альминский	Аномальное	115	69,4	12,6	5,6	4,9	3,2	1,8	2,5	
2. Лозовской	и фоновое	96	50,0	17,4	10,7	10,3	5,7	2,0	3,9	
3. Новолозовской	"	98	49,6	16,5	11,5	12,2	5,8	2,2	2,2	
4. Приветнинский	"	31	27,8	4,2	25,5	17,6	9,9	9,4	5,6	
5. Малосалгирский Северный	"	84	36,9	13,4	9,2	16,7	12,3	5,8	5,7	
6. Малосалгирский Южный.	"	99	36,5	22,7	15,9	13,7	6,0	2,8	2,4	

Таблица 16

Среднее содержание элементов в различных фракциях элювио-делювиальных образований
ртутнорудных участков

Объект	Элемент	Единица измерения	Ф р а к ц и и						
			+2	+1	+0,5	+0,25	+0,1	+0,056	-0,056
			Содержание элемента в %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Никитовское рудное поле (168 проб)	Mg	п х 10^{-7}	1490	1342	1360	1269	1431	1538	3140
	As	п х 10^{-3}	6,7	6,6	6,4	6,4	6,3	7,1	6,4
	Sb	п х 10^{-3}	4,7	7,1	5,0	4,1	5,7	3,9	4,7
	Li	п х 10^{-3}	3,5	3,6	3,6	3,5	3,5	2,7	3,7
	Cu	п х 10^{-3}	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	5,9	6,4
	Pb	п х 10^{-4}	22,4	23,4	24,2	23,7	27,3	29,0	26,5
	Zn	п х 10^{-3}	13,5	12,7	12,9	12,4	12,3	22,3	19,6
	Ba	п х 10^{-2}	6,2	6,2	6,2	6,0	6,1	3,3	6,6
	Ag	п х 10^{-6}	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	4,7	3,9
	Bi	п х 10^{-4}	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,6	2,1
	B	п х 10^{-3}	5,1	5,0	5,0	5,0	5,1	8,0	6,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Co	$\pi \times 10^{-4}$	21,2	21,3	21,8	20,9	20,2	11,4	18,8
	Ni	$\pi \times 10^{-4}$	60,8	60,0	60,8	63,8	64,9	46,9	51,7
	Cz	$\pi \times 10^{-4}$	281	230	359	392	374	85	107
	Mo	$\pi \times 10^{-5}$	20,1	19,9	20,2	20,9	20,3	14,9	15,6
	Sn	$\pi \times 10^{-4}$	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	7,3	6,7
	La	$\pi \times 10^{-3}$	2,1	2,2	2,2	2,1	2,2	2,3	2,5
	Y	$\pi \times 10^{-3}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,6	2,9
	Yb	$\pi \times 10^{-4}$	3,2	3,1	3,1	3,0	3,1	3,2	3,5
	Ya	$\pi \times 10^{-4}$	11,8	12,1	12,2	12,0	12,4	12,8	13,1
	Ye	$\pi \times 10^{-4}$	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,0	1,7
	Be	$\pi \times 10^{-4}$	2,7	2,8	2,7	2,7	2,7	3,8	3,0
	NB	$\pi \times 10^{-3}$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	2,1
	Sc	$\pi \times 10^{-4}$	14,2	14,0	14,0	13,7	14,2	13,8	13,8
	Ti	$\pi \times 10^{-2}$	47,4	49,0	48,9	48,9	49,8	40,9	51,7
	Mn	$\pi \times 10^{-3}$	84,6	82,7	86,7	81,5	75,8	55,0	61,8
	P	$\pi \times 10^{-2}$	8,9	8,7	8,8	8,7	8,6	10,3	10,2
	Al	$\pi \times 10^0$	7,5	7,7	7,8	7,5	7,8	4,0	5,9

продолжение таблицы I6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	V	п х 10^{-4}	104,0	106,3	108,7	105,9	106,4	112,3	114,2
	Zr	п х 10^{-3}	22,2	23,0	23,4	22,5	24,4	14,5	26,4
	Mg	п х 10^{-1}	5,3	5,4	5,5	5,4	5,6	4,0	5,2
	Fe	п х 10^{-1}	41,2	40,1	39,9	38,9	39,2	27,0	35,6
	Si	п х 10^0	30,3	31,0	31,5	31,1	30,3	19,9	30,0
	Na	п х 10^{-1}	4,1	4,4	4,4	4,4	4,5	3,2	5,7
	Ca	п х 10^{-1}	11,0	9,6	10,1	10,1	11,8	13,2	16,2

Дружковско-Константиновское рудное поле

(77 проб)

Mg	п х 10^{-7}	428	350	360	325	326	405	456
As	п х 10^{-3}	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Sb	п х 10^{-3}	-	-	-	-	-	-	-
Li	п х 10^{-3}	3,2	3,2	3,1	3,1	3,2	3,3	3,6
Cu	п х 10^{-3}	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,9	5,4
Pb	п х 10^{-4}	30,7	31,3	30,9	31,5	34,7	42,6	39,3
Zn	п х 10^{-3}	14,6	14,8	14,6	14,9	16,2	20,7	20,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<i>Ba</i>	п х 10^{-2}	6,8	6,7	6,8	6,6	6,7	7,6	13,3
	<i>Ag</i>	п х 10^{-6}	3,7	3,9	4,1	4,2	5,0	6,3	7,8
	<i>Bi</i>	п х 10^{-4}	0,8	0,7	0,8	0,8	1,1	1,4	1,0
	<i>B</i>	п х 10^{-3}	4,8	4,8	4,9	4,6	4,8	5,1	5,8
	<i>Co</i>	п х 10^{-4}	20,2	19,7	19,6	19,5	19,3	19,3	19,1
	<i>Ni</i>	п х 10^{-4}	48,2	48,7	48,7	49,0	48,3	49,1	49,6
	<i>Cz</i>	п х 10^{-4}	329	317	336	440	404	237	105
	<i>Mo</i>	п х 10^{-5}	17,3	16,7	16,7	16,8	17,2	16,3	15,1
	<i>Sn</i>	п х 10^{-4}	5,6	4,5	4,6	4,6	4,8	5,6	6,1
	<i>Zn</i>	п х 10^{-3}	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,9
	<i>Y</i>	п х 10^{-3}	2,1	2,1	2,2	2,1	2,2	2,4	2,7
	<i>Yb</i>	п х 10^{-4}	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	3,1	3,3
	<i>Ya</i>	п х 10^{-4}	10,8	11,4	11,4	11,2	11,6	12,8	13,5
	<i>Ye</i>	п х 10^{-4}	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
	<i>Be</i>	п х 10^{-4}	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6
	<i>Nb</i>	п х 10^{-3}	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9	2,0	2,2
	<i>Sc</i>	п х 10^{-4}	12,4	12,1	11,9	12,0	11,9	12,7	11,8

продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<i>Ti</i>	п х 10^{-2}	41,7	43,8	44,9	44,1	45,3	50,2	58,3
	<i>Mn</i>	п х 10^{-3}	74,2	70,6	66,0	67,5	66,8	65,3	62,2
	<i>P</i>	п х 10^{-2}	8,6	8,5	8,3	8,3	8,3	8,7	9,6
	<i>Al</i>	п х 10^0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,6	5,5
	<i>V</i>	п х 10^{-4}	93,2	94,5	93,8	91,4	94,2	99,5	110
	<i>Zr</i>	п х 10^{-3}	23,0	23,7	24,0	23,2	23,4	29,5	33,2
	<i>Mg</i>	п х 10^{-1}	7,0	6,0	5,6	5,3	5,3	6,1	5,7
	<i>Fe</i>	п х 10^{-1}	42,4	39,2	38,7	37,0	37,5	38,5	39,2
	<i>Si</i>	п х 10^0	13,9	14,1	14,3	14,2	14,4	14,2	15,0
	<i>Na</i>	п х 10^{-1}	4,2	4,5	4,4	4,3	4,6	5,1	6,1
	<i>Ca</i>	п х 10^{-1}	17,5	14,1	12,0	11,8	11,8	13,0	14,7
	<i>Ce</i>	п х 10^{-3}	1,1	1,2	1,0	0,9	1,0	1,8	2,9
	<i>W</i>	п х 10^{-4}	-	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
Славянское	<i>Mg</i>	п х 10^{-7}	54,4	54,2	51,3	47,7	50,0	53,4	70,0
рудное поле	<i>As</i>	п х 10^{-3}	6,8	6,3	6,3	10,0	8,0	6,7	6,3
(105 пррб)	<i>Sb</i>	п х 10^{-3}							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Li	п х 10 ⁻³	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,1	2,6
	Cu	п х 10 ⁻³	3,3	3,4	3,5	3,4	3,4	3,9	6,6
	Pb	п х 10 ⁻⁴	19,7	20,0	19,4	18,5	20,0	20,3	23,9
	Zn	п х 10 ⁻³	11,0	11,3	10,4	9,5	10,0	11,9	17,9
	Ba	п х 10 ⁻²	4,2	4,2	4,3	4,2	4,5	3,9	4,7
	Ag	п х 10 ⁻⁶	3,3	3,2	3,2	3,1	3,2	3,3	3,5
	Bi	п х 10 ⁻⁴	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,4	2,0
	B	п х 10 ⁻³	4,6	4,7	4,5	4,5	4,8	5,5	4,7
	Co	п х 10 ⁻⁴	16,3	15,8	15,8	15,8	15,6	12,0	14,1
	Ni	п х 10 ⁻⁴	69,9	67,9	79,3	77,1	82,7	36,0	44,0
	Cz	п х 10 ⁻⁴	322	316	348	421	506	75	96
	Mo	п х 10 ⁻⁵	23,4	22,4	23,8	23,1	27,0	14,8	17,1
	Sn	п х 10 ⁻⁴	4,2	4,3	4,4	4,3	4,4	5,1	6,3
	La	п х 10 ⁻³	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,7	2,8
	Y	п х 10 ⁻³	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,5	2,6
	Yb	п х 10 ⁻⁴	2,7	2,8	2,6	2,6	2,7	3,0	3,2
	Ya	п х 10 ⁻⁴	10,1	9,8	9,8	9,8	9,9	8,9	10,7

продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<i>Ye</i>	$\text{п} \times 10^{-4}$	1,9	1,6	1,7	1,6	1,9	5,3	4,5
	<i>Be</i>	$\text{п} \times 10^{-4}$	3,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,6	2,3
	<i>Nb</i>	$\text{п} \times 10^{-3}$	1,9	1,9	1,8	1,9	2,0	1,9	2,1
	<i>Sc</i>	$\text{п} \times 10^{-4}$	11,1	10,9	10,7	10,9	11,0	12,8	11,9
	<i>Ti</i>	$\text{п} \times 10^{-2}$	44,7	43,1	43,6	42,7	46,2	46,5	51,8
	<i>Mn</i>	$\text{п} \times 10^{-3}$	60,6	57,0	56,8	54,0	54,6	45,4	52,1
	<i>P</i>	$\text{п} \times 10^{-2}$	6,7	6,8	6,6	6,6	6,8	6,3	7,0
	<i>Al</i>	$\text{п} \times 10^0$	5,6	5,8	5,6	5,4	5,5	4,7	6,2
	<i>V</i>	$\text{п} \times 10^{-4}$	99,2	97,9	96,2	96,4	98,2	97,8	100,4
	<i>Zr</i>	$\text{п} \times 10^{-3}$	22,8	22,8	22,2	21,6	22,8	27,6	31,8
	<i>Mg</i>	$\text{п} \times 10^{-1}$	6,9	6,8	6,7	6,5	6,5	6,4	7,2
	<i>Fe</i>	$\text{п} \times 10^{-1}$	36,8	35,2	35,3	33,9	34,6	26,5	33,0
	<i>Si</i>	$\text{п} \times 10^0$	31,4	32,0	32,0	31,6	32,0	21,1	30,2
	<i>Na</i>	$\text{п} \times 10^{-1}$	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5	3,3	5,6
	<i>Ca</i>	$\text{п} \times 10^{-1}$	20,8	18,8	18,9	19,0	19,4	19,4	28,4
	<i>W</i>	$\text{п} \times 10^{-4}$	1	1	1,1	1,1	1,1	0,6	0,7

тов в самой тонкой фракции (-0,056). Затем проведены эксперименты по установлению влияния истирания проб на содержание ртути. Проба просеивалась через сито 0,5 мм. Одна половина пробы, после квартования истиралась до 200 меш, а вторая - не истиралась. Опыты показали, что расхождения содержаний ртути в истертых и не истертых литохимических пробах (табл. I7) с разными знаками и алгебраическая сумма их равна + 7%. Это свидетельствует о том, что нет необходимости в истирании проб. Поэтому нами проведены опытно-методические полевые работы. Пробы отбирались и просеивались в поле через 2 сита 0,5 и 0,074 мм. Изменение содержаний ртути в пробах, отобранных разными способами (табл. I8) показало, что содержание ртути в I, I - 3,3 раза выше во фракциях меньше 0,074 мм, чем 0,5 мм. Такая же закономерность сохраняется и для других химических элементов. Поэтому литохимические поиски месторождений полезных ископаемых следует осуществлять по фракции -0,074 мм. Ореолы, фиксирующие месторождения, будут интенсивные и контрастные.

Новые данные по обработке проб. При истирании литохимических проб происходит нагревание материала и улетучивание ртути. Поэтому нами проведены эксперименты по обработке проб. Составлялись групповые пробы большого веса. Пробы тщательно перемешивались. Каждая проба анализировалась 5 раз, затем от каждой пробы отбирались навески в количестве 5, 10, 20 и 40 г. Эксперименты выполнялись на виброистирателе. Сразу в 4 стакана закладывались навески и истирались 0,5 минут. Потом следующие навески истирались 1 минуту и т.д. Результаты исследований по групповой пробе 1 гр (табл. I9) показали, что литохимические пробы должны истираться не более 3 минут. За это время пробы истираются до 200 меш и могут быть переданы на спектральный анализ.

Таблица I7

Изменение содержаний ртути в истертых и не истертых литохимических пробах

Регион, объект, участок	Содержание ртути в истертых пробах в п х 10 ⁻⁷ , %			Содержание ртути в неистертых пробах (просеянных через сито 0,5 мм) в п х 10 ⁻⁷ , %			Расхождение средних содер- жаний ртути в %
	C_{min}	C_{max}	$\bar{C} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	C_{min}	C_{max}	$\bar{C} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	
I	2	3	4	5	6	7	8
Донбасс							
1. Славянское руд- ное поле, Цент- ральный участок (п = 194)	I4	1100	60 ± I4	II	900	46 ± I2	+ 30,0
2. Дружковско-Кон- стантиновское рудное поле, Константиновский	60	2900	388 ± 43	44	4000	353 ± 60	+ 10,0

1	2	3	4	5	6	7	8
3. Никитовское рудное поле, участок Черный Бугор (п = 301)	160	12000	1492 ± 118	180	20000	1612 ± 198	- 8,0
4. Ольховатско-Волынецовская антиклиналь. Еленовский участок, (п = 284)	32	1900	137 ± 19	40	1400	186 ± 14	- 26,0
Крым							
1. Малосалгирское рудопроявление ртути. Участок Северный (п = 236).	22	8500	241 ± 98	18	7500	209 ± 87	+ 15,0
Средняя Азия							
Хайдарканское рудное поле (п = 225).	28	15000	2093 ± 180	24	19000	2424 ± 228	- 14,0

Таблица 18

Изменение содержаний ртути в пробах, подготовленных разными способами

Регион, участок	Содержание ртути в пробах в п х 10^{-7} , %						Отноше- ние
	Пробы просеяны через сито 0,5 мм			Пробы просеяны через сито 0,074 мм			
	C_{min}	C_{max}	$\bar{C} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	C_{min}	C_{max}	$\bar{C} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	$\frac{C_2}{C_1}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Донбасс. Черный Бу- гор (n = 73)	380	9500	1553 ± 223	260	10000	1867 ± 238	1,2
2. Крым. Северный учас- ток Малосалгирского рудопоявления (n = 121)	15	700	88 ± 12	42	1600	257 ± 28	2,9
Южный участок Мало- салгирского рудопроя- вления (n = 45)	30	580	127 ± 18	40	660	140 ± 21	1,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Новолозовское рудопроявление (п = 88)	38	1850	146 ± 39	50	2650	178 ± 56	1,2
3. Запорожье. Новополтавский участок (п = 153)	10	280	26 ± 4	10	600	38 ± 9	1,5
4. РСФСР. Участок Тучкино I (п = 103)	2	140	16 ± 3	20	150	53 ± 2	3,3
5. Красноярский край. Участок Чернореченский (п = 45)	20	7000	1008 ± 235	30	8500	1164 ± 286	1,2
6. Средняя Азия. Участок Зармитан	10	18	14 ± 0,3	12	26	17 ± 0,4	1,2

Таблица 19

Изменение содержания ртути в групповой пробе 1 гр

Время истира- ния в минутах	Вес навески в граммах			
	5	10	20	40
	Содержание ртути в п х 10^{-7} , %			
1	2	3	4	5
0,0	1790	1790	1790	1790
0,5	1650	1650	1700	1700
1,0	1700	1750	1700	1700
2,0	1750	1700	1750	1700
4,0	1650	1550	1700	1550
8,0	1450	1700	1650	1700
16,0	1750	1400	1700	1600
32,0	1500	1300	1300	1400

Новые данные по хранению литохимических проб.

В 1962-1968 г.г. Н.Х.Айдиньян, Н.А.Озерова, А.В.Волкова, Н.Д.Шикина встретились с интересным явлением. Содержание ртути в пробах пород после длительного их хранения существенно изменились как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Увеличения содержания ртути в пробах наблюдали и английские исследователи Коксой М., Брэдшоу М.Д., Тумс Д.С. Высокую сорбционную способность углей по отношению к паровозной ртути описывали И.Янда и Е.Шроль. На сорбцию ртути перманганатом калия и другими химическими реактивами указывали ряд советских и зарубежных ис-

следователей. А.Д.Ковалевский и другие исследователи считают, что ртуть улетучивается при хранении литохимических проб. Некоторые исследователи публикуют сведения об улетучивании ртути даже при 20°C. Поэтому нами проведены эксперименты по хранению различных типов литохимических проб над киноварными рудами и без них, при комнатной температуре.

Ежемесячно производились анализы на содержание ртути в них (табл.20). Обработка результатов анализов показала, что в течение года происходит не потеря ртути, а ее сорбция из воздуха. Литохимические пробы должны храниться отдельно от киноварных руд. При хранении проб происходит не уменьшение, а увеличение содержания ртути в литохимических пробах, особенно после 5 месяцев хранения, поэтому пробы должны анализироваться как можно быстрее.

Сорбционные способности ртути проверены экспериментально. В специально подготовленные пробирки помещались сорбенты по I г и вводились пары ртути в объеме 20 мл. При этом, замерялись температура паров ртути, воздуха, атмосферное давление и сорбент встряхивался. Температура паров ртути и воздуха изменялась от 11°C до 21°C, а атмосферное давление - от 737 до 756 мм рт.ст. В результате исследований установлена большая сорбционная способность ртути (табл.21). Сорбция ртути разными сорбентами не одинакова, не наблюдается прямая зависимость:

$$C = C_{\text{ср}} + t \cdot \text{tg} \alpha$$

где: C - содержание ртути, $\text{п} \times 10^{-7} \%$;

$C_{\text{ср}}$ - первоначальное содержание ртути в сорбенте, $\text{п} \times 10^{-7} \%$;

t - время в сутках; α - угол наклона инвариантной прямой в $^{\circ}$.

Сорбция ртути зависит от состава сорбента, размеров частиц, количества сорбента и вводимых паров ртути, времени, метеорологических условий и т.д. Нами установлено увеличение сорбции в пробах, содержащих повышенное количество органики, т.е. в почвах по сравнению с супесями и суглинками. Большими сорбционными способностями обладают угли. Так, при хранении угольных проб в лаборатории атомно-абсорбционного анализа института в течение 7 месяцев содержание ртути изменилось в сторону увеличения по классам: $p \times 10^{-6}$ (от 4×10^{-6} до 42×10^{-6}); $p \times 10^{-5}$ (от 5×10^{-5} до 12×10^{-5}); $p \times 10^{-4}$ (от 4×10^{-4} до 6×10^{-4}) при фоновых содержаниях ртути в воздухе 8×10^{-7} мг/л ($0,16 \times 10^{-7}$ %).

Не изменилось содержание ртути в пробах угля класса $p \times 10^{-3}$ %. В течение одних суток изменился фон в лаборатории до 375×10^{-7} мг/л (75×10^{-7} %) и содержание ртути в пробах угля изменилось с $1,23 \times 10^{-5}$ до $2,02 \times 10^{-5}$ % и с $1,32 \times 10^{-4}$ до $2,07 \times 10^{-4}$ %.

Нами проведены специальные исследования по сорбции ртути углями различных марок и углевещающими породами. По увеличению среднего содержания ртути угли можно расположить в ранжированный ряд: древесный (Д), бурый (Б), антрацит (А), тощий (Т), коксующийся (К), отощенно-спекающийся (ОС), газовый (Г) и жирный (Ж) (табл. 22). Углевещающие породы располагаются в ряд: песчаники, песчаные сланцы, известняки, глинистые сланцы, песчано-глинистые сланцы, углистые сланцы, углесто-глинистые сланцы (табл. 22).

Эксперименты по сорбции ртути углями проводились по вышеописанной методике, только вводили 10 см^3 паров ртути в пробирки,

Ежемесячное изменение среднего содержания ртути в литохимических пробах

Тип проб	Месяцы 1980 года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Содержание ртути в п х 10^{-6} %											
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

I. Пробы хранились в шкафу над киноварными рудами при комнатной температуре

I. Коренные породы

а) песчаники софиевские (п = 31)	850	883	900	817	883	833	900	883	867	850	933	1033
б) песчаники четарникские (п = 35)	148	130	130	142	142	152	157	154	140	150	192	242
в) сланцы глинистые (п = 35)	386	344	396	356	434	414	422	414	410	418	449	500
г) сланцы песчанистые (п = 35)	32	24	27	28	32	30	40	36	35	37	45	41

продолжение таблицы 20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
д) "кучерявчики" (п = 32)		29	30	32	30	34	30	32	36	34	32	35	34
2. Элювио-делювиальные образования:													
а) фоновое содержание ртути в пробах (п = 35)		7,2	7,1	7,1	7,8	8,2	9,2	10,5	10,8	10,0	9,4	10,6	11,4
б) аномальное содержание ртути в пробах (п = 35)		181	162	174	178	184	148	169	187	206	198	262	173
3. Пролувио-аллювиальные отложения:													
а) фоновое содержание ртути в пробах (п = 38)		5,9	5,2	6,6	7,6	7,6	8,0	8,0	9,7	9,0	9,0	9,0	8,2

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>
б) аномальное со- держание ртути в пробах (п = 39)	31,8	27,2	28,6	27,3	27,2	28,7	29,9	31,8	34,1	32,7	41,3	39,9	

П. Пробы хранились при комнатной температуре без киноварных руд

I. Коренные породы

а) песчаники со- фиевские (п = 35)	900	890	920	880	930	1010	915	1060	980	940	1010	894	
б) песчаники че- гарникские (п = 34)	210	240	262	248	265	308	311	315	335	312	276	290	
в) сланцы глини- стые (п = 35)	134	156	159	184	218	226	163	230	172	176	217	218	
г) сланцы песча- нистые (п = 35)	23,6	26,2	27,2	24,8	26,8	30,4	42,0	30,2	46,0	38,6	41,2	42,6	

2. Элювио-делюви-

альные образования:

продолжение таблицы 20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
а) фоновое содержание ртути в пробах (п = 35)	7,4	8,5	9,5	10,7	9,2	14,5	9,9	17,2	13,4	12,2	12,9	13,6	
б) аномальное содержание ртути в пробах (п = 34)	71,2	82,5	82,5	82,5	86,2	83,8	71,2	76,2	80,0	73,8	95,0	91,2	
3. Пролувио-аллювиальные отложения:													
а) фоновое содержание ртути в пробах (п = 38)	6,0	6,8	6,5	11,4	11,4	11,8	9,0	14,8	13,1	11,7	11,6	12,4	
б) аномальное содержание ртути в пробах (п = 38)	35,8	33,1	32,5	40,2	33,1	35,6	50,2	45,1	46,2	57,2	53,9	51,4	

Содержание ртути в сорбентах

Наименование сорбента, крупность материала в мм	Рудопроявле- ние, регион	Содержание ртути в сорбентах в п х 10^{-7} %					
		перво- началь- ное	После ввода паров ртути и хранения проб в т е ч е н и е :				
			1 суток	2 суток	3 суток	4 суток	5 суток
1	2	3	4	5	6	7	8
Цеолит (0,074)	Закарпатье	25	66	88	84	75	73
Цеолит (0,1)	Закарпатье	29	89	110	100	82	85
Магnezит (0,074)	Саткинское, Урал	14	98	100	106	112	100
Окись магния(0,074)	Корея	n/o	28	30	24	29	26
Боксит (0,5)	Куба	311	470	460	450	415	380
Боксит (0,074)	Куба	367	460	320	440	415	340
Боксит (0,074)	Высокопольское, Украинская ССР	254	310	240	390	350	370
Пиррользит (0,074)	Чиатурское, Грузинская ССР	194	240	250	350	310	300

продолжение таблицы 2I

1	2	3	4	5	6	7	8
Карбонатная марганцевая руда (0,074)	Чиатурское, Грузинская ССР	30	100	106	110	110	110
Псиломелан (0,074)	Никопольское, Украинская ССР	490	500	530	550	560	520
Манганит (0,074)	Никопольское, Украинская ССР	340	390	420	320	440	410
Пирролизит (0,074)	Никопольское, Украинская ССР	436	500	510	500	500	540
Калий марганцевокислый (0,074)	Сакский химкомбинат, Украинская ССР	5	110	110	100	120	110
Мрамор (0,074)	Забайкалье	6	60	72	52	60	52
Кальцит ожезненный (0,074)	Новое Южно-Салгирское, Украинская ССР	44	70	68	72	60	44
Кальцит белый (0,074)	Новое Южносалгирское, Украинская ССР	5	18	34	47	50	26
Г и п с (0,074)	р. Маныч Ростовской области	11	22	16	20	20	34

1	2	3	4	5	6	7	8
Доломит (0,074)	Чибижек, Красноярский край	8	100	110	100	110	90
Магнетит (0,074)	Лебединское, КМА, Курская область, РСФСР	248	490	400	490	400	470
Доломит мраморизованный (0,074)	Сонское, Красноярский край	11	100	80	88	100	100
Магнетит (0,074)	Куксунгурское, Украинская ССР	31	100	110	200	145	100
Гематит (0,074)	Криворожское, Украинская ССР	74	230	240	250	220	240
Микротальк (0,074)	Шабровское, Свердловское, Урал	15	56	50	44	42	78
Талькомагнезит (0,074)	Шабровское, Урал	8	56	68	52	62	84
Тальк для кабельной промышленности (0,074)	Шабровское, Урал	48	88	110	100	110	100

продолжение таблицы 2I

1	2	3	4	5	6	7	8
Тальк для керамической промышленности (0,074)	Шабровское, Урал	4	74	40	56	30	46
Тальк для резиновой промышленности (0,074)	Шабровское, Урал	3	22	36	16	18	28
Асбест	Джетыгаринское, Урал	26	34	44	86	76	58
Флогопит (0,074)	Изумрудные копи, Урал	3I	74	74	92	86	80
Вермикулит (0,074)	Булдымское, Вишневые Горы, Урал	328	370	470	450	380	420
Микроклин (0,074)	Житомирские граниты, Украинская ССР	6	36	74	88	74	72
Плагиоклаз (0,074)	Стремигородское, Украинская ССР	420	440	480	430	390	400
Плагиоклаз (0,074)	Стремигородское, Украинская ССР	338	430	420	390	430	430

1	2	3	4	5	6	7	8
Кварц (0,074)	Житомирские граниты, Украинская ССР	10	72	84	66	56	54
Апатит (0,074)	Новополтавское, Украинская ССР	37	100	96	120	96	76
Ильменит из коры выветривания (0,074)	Букинское, Украин- ская ССР	292	360	420	420	390	400
Ильменит из коры выветривания (0,074)	Торчинское, Украин- ская ССР	75	260	330	310	320	300
Ильменит из россыпи (0,074)	Лемнянское, Украин- ская ССР	204	350	380	360	280	240
Ильменит из коренных залежей (0,074)	Стремигородское, Украинская ССР	136	290	280	360	280	240
Фосфорит (0,074)	Ратновское, Украин- ская ССР	232	330	280	360	320	300
Фосфорит (0,074)	Ратновское, украин- ская ССР	220	290	310	320	330	280

продолжение таблицы 2I

1	2	3	4	5	6	7	8
Фосфорит (0,074)	Ратновское, Украинская ССР	85	250	230	280	260	260
Фосфорит (0,074)	Осыковское, Украинская ССР	85	250	230	280	260	260
Фосфорит (0,074)	Дубровинское, Белгородская область, РСФСР	36	42	48	54	52	52

Таблица 22

Содержание ртути в углях и углевмещающих породах

Марки углей, наименование пород	Кол-во проб	Зольность в %			Содержание ртути в п х 10^{-7} %		
		<i>min</i>	<i>max</i>	Средняя	<i>min</i>	<i>max</i>	Среднее
1	2	3	4	5	6	7	8
Т	462	5,2	60,0	19,0	20	7500	732,6
Ж	449	1,9	67,0	17,5	22	14000	1522,6
Г	19	9,0	45,9	24,1	250	4200	1276,3
К	167	4,0	50,4	19,8	45	4500	767,5
ОС	119	4,8	50,8	18,4	180	9000	861,0
А	3				340	700	520,0
Б	6				160	400	281,0
Д	3				1	2	2
Песчаники	12	81,8	96,4	88,8	30	1200	259,7
Песчанистые сланцы	22	81,3	91,3	86,3	40	1500	285,3
Глинистые сланцы	505	19,4	94,2	80,5	33	9000	496,4

продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8
Углистые сланцы	140	13,4	85,1	47,5	40	5000	618,0
Известняки	5	74,0	91,7	78,6	69	650	449,8
Углисто-глинис- тые сланцы	29	24,9	79,1	58,4	83	3900	1330,1
Песчано-глинис- тые сланцы	63	76,2	92,8	86,2	48	2900	530,4

Сорбция ртути углями, глинами, углевлещающими и интрузивными породами

Марки углей, наименование пород	Номера проб	Зольность в %	Содержание ртути в п х 10 ⁻⁷ %					
			Первоначальное	После ввода паров ртути и продолжительности эксперимента в сутках:				
				1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Т	3144	5,4	36	5600	6400	4000	9200	6000
	3059	8,5	48	280	220	300	240	240
	3627	4,6	170	220	240	220	220	200
	3575	15,0	350	560	600	380	360	360
Среднее		8,4	151	1665	1865	1225	2505	1700
Ж	2822	8,6	108	280	300	300	300	330
	2225	14,3	180	1700	2000	1500	750	800
	2214	21,2	450	550	700	550	550	600
	1020	16,5	950	1500	1200	1060	1050	1060

продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2005	45,7	1500	1800	2100	1600	1600	1700
	2140	17,5	3600	4800	4000	4500	4000	4500
	2163	16,6	3800	4500	4500	4000	4000	4500
	2167	11,0	6500	7500	7000	7000	7000	7000

Среднее		18,9	2136	2829	2725	2564	2406	2561

Г	1820	9,0	250	760	580	680	600	700
	2424	37,4	650	1500	1500	1700	1500	1500
	2773	13,2	1500	2150	1800	2200	1700	2200
	2026	30,1	1300	1900	1700	1800	1700	1700
	2776	13,8	3200	4000	4200	5200	3600	3600
	2778	16,5	2800	3400	3600	3400	3200	3200

Среднее		20,0	1617	2285	2230	2497	2050	2150

1	2	3	4	5	6	7	8	9
К	2899	9,2	45	250	300	300	250	250
	3197	8,6	500	1000	900	800	1000	900
	2601	35,6	850	1100	1200	1400	1400	1100
	2605	49,1	900	1600	1600	1700	1600	1600
	2040	37,2	1800	2100	2000	2000	2100	2500
	1611	20,4	4000	6000	5500	6000	6000	6000
	1817	17,5	6500	7000	8500	8000	8000	8000

Среднее		25,4	2085	2721	2857	2886	2907	2907
ОС	3796	19,9	330	600	700	650	600	500
	1641	16,4	1000	1400	1600	1600	1600	1600
	1199	29,3	3600	4100	4770	5400	5100	3800
	1104	24,7	4000	5000	5500	6000	5000	5000

Среднее		22,6	2232	2775	3142	3412	3075	2725

продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	9229	-	340	1000	1000	850	800	850
	9230		520	550	570	600	550	600
	9226		700	1400	1200	1300	1000	1000

Среднее			520	983	923	917	783	817
Б	11597		250	350	400	350	400	350
Д	Д - I		I	100	110	150	100	100
Песчаники	2860	90,8	75	450	380	380	420	360
	2863	84,1	120	210	190	240	250	390
	2483	96,4	160	220	310	220	300	300

Среднее		90,4	118	293	293	280	323	350
Песчанистые сланцы	2879	90,2	48	290	260	270	260	260
	2703	84,0	300	500	500	550	550	550

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		2844	87,0	950	1100	1100	1100	1100	1000
		2571	87,5	1100	1400	1400	1200	1300	1300
Среднее			87,2	600	822	815	780	802	778
Глинистые сланцы	3634	3638	77,0 77,4	270 290	360 430	410 420	450 420	450 380	450 390
	3658	3669	80,5 55,7	260 440	420 450	550 530	440 530	320 560	340 540
Среднее			72,6	315	415	478	460	428	430
Углистые сланцы	2021	2334	60,3 38,8	1900 5000	2000 10000	2100 11000	2300 12000	2100 14000	2000 9000
Среднее			49,3	3450	6000	6550	7150	8050	5500

продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Известняки	2842	74,7	1300	1600	1500	1900	1700	1800
	2852	78,2	1300	1500	1600	1600	1400	1400

Среднее		76,4	1300	1550	1550	1750	1550	1600
- Каолины (месторож- дение Стульвево)	К - I	-	64	140	120	100	120	120
	Монтморил- лониты	М - I	20	72	68	44	48	40

Глина (месторож- дение Часовъяр- ское)	Чя - I		12	44	50	54	54	51

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Глина (месторождение Часовьярское)	Чя - 2	-	28	80	64	72	72	72
Сиенит Приазовья	ОП-196-85		14	110	100	120	150	150
Габбронорит коростенский	ОП-199-85		10	30	30	40	40	36
Гранит чудново-берди- чевский	ОП-195-85		12	51	42	51	48	69
Гранит альбитизиро- ванный	ОП-198-85		8	42	30	30	34	36

в которых помещено по 1 г угля. В результате исследований установлены большие сорбционные способности углей (табл.23).

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о необходимости учета летучести и сорбции ртути при геохимических поисках месторождений полезных ископаемых, изучении геохимии ртути и окружающей среды. Ртуть обладает летучестью, сорбционной способностью и является универсальным элементом-индикатором при поисках месторождений полезных ископаемых. Летучесть ртути обусловлена упругостью ее паров. Последняя связана с температурой прямой зависимостью:

$$T = \pm a + v x P$$

где: T - температура в $^{\circ}\text{C}$; P - упругость паров ртути (давление паров ртути) в мм рт.ст.; a и v - коэффициенты.

На УВК СМ-4 нами обчислены уравнения регрессии, которые при разных температурах имеют следующие выражения:

$$T = -28,14 + 203819,38P \quad (2)$$

$$T = 33,24 + 351,09P \quad (3)$$

$$T = 123,36 + 5,67P \quad (4)$$

$$T = 210,48 + 0,42P \quad (5)$$

$$T = 294,06 + 0,08P \quad (6)$$

$$T = 374,27 + 16,60P \quad (7)$$

$$T = 451,47 + 6,83P \quad (8)$$

$$T = 516,61 + 3,81P \quad (9)$$

Температура в $^{\circ}\text{C}$ изменяется от уравнения 2к - 9 соответственно от до:

-0 + -39; +0 + +100; +101 + +200; +201 + +300;

+30I + +400; +40I + +500; +50I + +600; +60I + 675.

Из уравнений 3 + 9 видно, что в зависимости от температуры упругость паров ртути изменяется закономерно от $+0^{\circ}\text{C}$ до 400°C . Затем происходит некоторый скачок и изменение коэффициентов "а" и "в" в пределах температур от 40°C до 675°C . Обе ветви кривой имеют общую закономерность, т.е с увеличением температуры возрастает коэффициент "а" и уменьшается "в".

На основании вышеизложенного следует рекомендовать:

- сорбция ртути зависит от температуры, атмосферного давления, внутренних способностей сорбента, концентрации ртути в сорбенте и воздухе (воде). При увеличении органики в объектах биосферы сорбция ртути увеличивается. Углерод имеет большое значение в миграции ртути;

- при поисках месторождений полезных ископаемых литохимические пробы из донных отложений должны отбираться из тонкой фракции глинисто-илистого состава, а из элювия-делювия - из гусового горизонта "А". Представительной фракцией является - 0,074 мм;

- в случае истирания проб, просеянных через сито 0,5 мм, время их обработки не должно превышать 2-х минут;

- анализ литохимических проб на ртуть нужно производить вскоре после их отбора и просеивания;

- литохимические пробы, во избежание сорбции или десорбции необходимо хранить в пакетах из пергаментной бумаги при комнатной температуре и в специальных помещениях;

- особое внимание нужно уделять процессам улетучивания и сорбции ртути при вычислении кларковых содержаний, при изучении закономерностей распределения ртути в углях и других объектах

биосферы, а также - геохимии ртути и окружающей среды. В этом случае пробы должны храниться в специально подготовленной стеклянной посуде с плотным закрытием;

- сорбенты необходимо использовать при поисках месторождений полезных ископаемых, при улавливании ртути на ртутных комбинатах для повышения ее извлечения, для очистки сточных вод, воздуха при охране окружающей среды.

2.3 Лабораторные исследования

На заведомо перспективных площадях на ртутные руды пробы донных осадков следует подвергать только атомно-абсорбционному анализу на ртуть. На новых площадях рекомендуется комплексировать литохимический метод поисков по потокам рассеяния с гидрохимическим и подвергать пробы полному спектральному и другим видам анализов. Ниже приводим краткое описание отдельных видов анализов.

2.3.1 Атомно-абсорбционное определение ртути в литохимических пробах

Для производства анализа на ртуть элювио-делювиальных образований, пролювио-аллювиальных отложений и горных пород используют атомно-абсорбционные фотометры РАФ-1 (завода Казгеофизприбор) и электронную приставку для регулирования температуры подогрева и прокаливания сорбента и времени реакции и прокаливании, изготовленную в Институте минеральных ресурсов (А.В.Анищенко).

Общий вид установки изображен на рис.6. Ход анализа подробно описан в Методических рекомендациях по эксплуатации полевых станций типа "Ореол" (А.В.Анищенко, С.И.Кирикилица, 1979 г.)

Чувствительность анализа 2×10^{-8} %. Пробы пролювио-аллювиальных и элювио-делювиальных образований могут быть проанализированы двумя вариантами после частичного дробления: 1) после просеивания через сито 0,5 мм; 2) после истирания на виброистирателе до 200 меш. Пробы горных пород должны быть истерты до 200 меш. Для анализа требуется 1 г материала. Производительность 50-120 анализов за 1 приборо-смену, продолжительностью 7 часов.

На качество анализов оказывают влияние объемные дозаторы и способ эталонирования прибора. В институте изготовлены самодельные дозаторы из листовой нержавеющей стали или пермаллоя. Выдавленные шариками разных диаметров дозаторы на 0,1; 0,025 и 0,005 грамма в сочетании с различными диапазонами чувствительности приборов обеспечивают возможность определения содержаний ртути от 1×10^{-7} до 1×10^{-3} %.

Атомно-абсорбционные фотометры предназначены для количественного определения содержаний ртути в парообразном состоянии независимо в каком фазовом состоянии она находится в пробе. Интегратор прибора показывает абсолютное количество парообразной ртути, прошедшей с воздухом через прибор. В Институте минеральных ресурсов эталонирование приборов осуществляется определенными объемами воздуха, насыщенного парами ртути. Для этого используется сосуд с нижним тубусом, емкостью 1 - 1,5 л (рис.6). Нижний тубус закрывается специальной пробкой, которая просверлена насквозь, а затем заклеена снаружи эластичной листовой резиной, толщиной 1,5 - 2 мм. В верхнюю пробку вставляется краник и ртутный термометр. На дно сосуда наливается тонкий слой чистой металлической ртути марки Р-1. Через несколько минут в сосуде создается равновесие между металлической ртутью и ее насы-

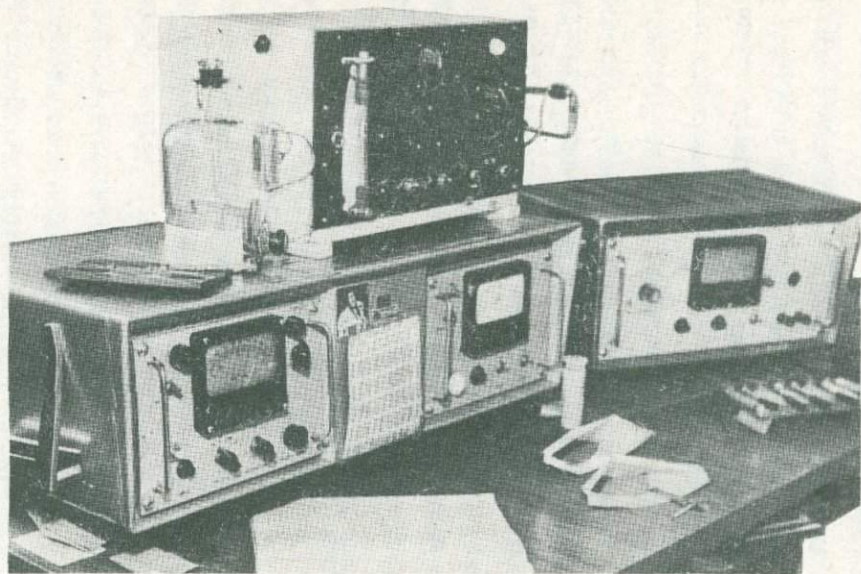


Рис.6 Общий вид установки для атомно-абсорбционного анализа природных сред на ртуть

ценными парами ртути. С помощью медицинского шприца, через нижнюю пробку сосуда отбирается определенный объем насыщенных паров ртути. Температура в сосуде определяется по термометру. Содержание ртути в насыщенных парах в зависимости от температуры является постоянной величиной и приведено в таблице 24 (по данным Методических указаний № 197 по поверке приборов-анализаторов на пары ртути в воздухе. Издательство Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР, М., 1966, 15 с).

Таблица 24

Весовые количества ртути в различных объемах воздуха, насыщенных ее парами в зависимости от температуры (атмосферное давление 760 мм рт.ст.)

Температура °С	Количество ртути (нанограмм) в объеме (мл)			
	0,25	0,5	1	2
1	2	3	4	5
0	0,56	1,12	2,24	4,47
2	0,68	1,36	2,70	5,41
4	0,82	1,63	3,26	6,53
6	0,98	1,96	3,92	7,85
8	1,18	2,36	4,72	9,45
10	1,41	2,82	5,65	11,30
12	1,69	3,37	6,74	13,50
14	2,02	4,03	8,06	16,10
16	2,41	4,82	9,63	19,30
18	2,83	5,66	11,30	22,60
20	3,36	6,69	13,40	26,80
22	3,94	7,89	15,80	31,60

1	2	3	4	5
24	4,64	9,27	18,50	37,10
26	5,44	10,90	21,80	43,50
28	6,38	12,70	25,50	51,00
30	7,43	14,90	29,70	59,40
32	8,67	17,30	34,70	69,30
34	10,10	20,20	40,30	80,70
36	11,70	23,40	46,80	93,70
38	13,60	27,20	54,30	109,00
40	15,70	31,40	62,80	126,00
42	18,10	36,30	72,60	145,00
44	20,60	41,80	83,60	167,00
46	24,00	48,00	96,10	192,00

Для анализа требуется навеска не менее 0,1 г. Температура в печах регулируется до 700⁰С. При ступенчатом анализе прибор настраивается соответственно на 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 800⁰С. От каждой пробы отбираются навески и в них определяется содержание ртути при соответствующей температуре.

Если в литохимических пробах много мешающих примесей (органики, сульфидов, арсенидов и т.п.), то используется установка УДР (универсального дифференциального разделения), сконструированная в институте (А.В.Анищенко, И.И.Степанов).

Общий вид прибора РАФ и УДР показан на рисунке 7.

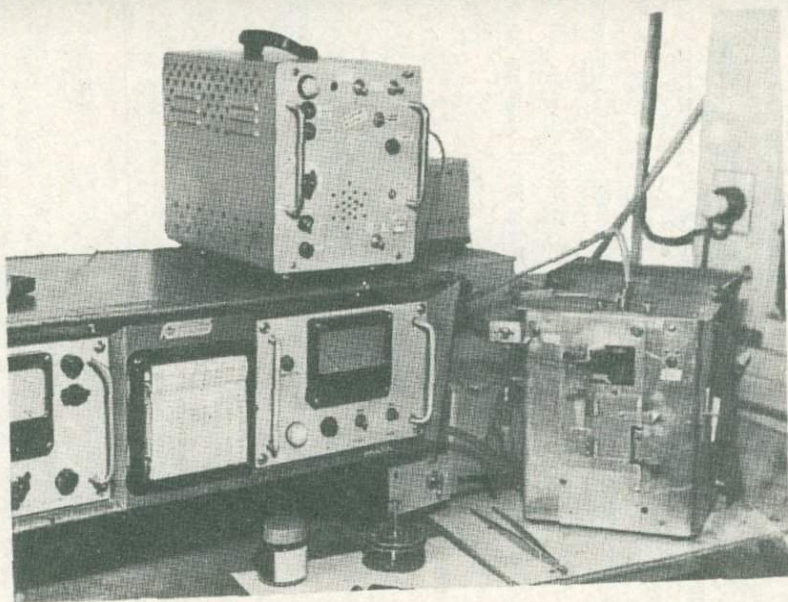


Рис.7. Общий вид прибора РАФ и УДР

2.3.2 Атомно-абсорбционное определение ртути в воде

Высококчувствительное определение ртути в природных водах с помощью атомной абсорбции производится разными способами в Советском Союзе и за рубежом.

Без предварительного концентрирования позволяет определить содержание ртути в воде только метод инверсионной вольтамперометрии (Fukai R, Huynh-Ngogi, 1976). Его чувствительность 5 нг из пробы объемом 50 мл. Этот метод не нашел практического применения. Все остальные методы определения ртути основаны на предварительном концентрировании. Концентрирование осуществляется как при улавливании паров ртути, так и ее ионной формы. По первому способу пары ртути поглощаются охлажденным жидким азотом ловушки (Fitzgerald W.F., Lyons W.B., Munt C.D., 1974), благородными металлами - золотом, серебром, платиной, палладием (Kuregi I, Komazeki J, Sommer I, 1979; Olafsson J, 1978; Sugawara K, 1978) или кислым раствором перманганата калия (Dal Pont Y, Major Y.A., 1978; Olafsson J, 1978; Sugawara K, 1978).

Наибольшее распространение получило поглощение паров ртути благородными металлами и кислым раствором перманганата калия. Сущность методики заключается в добавлении к 100-500 мл пробы воды хлористого олова и пары металлической ртути выдувают в поглотительную ловушку. Часто хлористое олово добавляют после разрушения органических форм ртути с помощью окислителей или ультрафиолетового облучения. Ригин В.И. предложил в 1979 г. электролитическим путем амальгировать ртуть на золотом катоде из 2,5 мл пробы воды.

Концентрирование в ионной форме (Hg^{2+}) производят: экстракцией дитизоном (*Gardner D., Riley J. P.*, 1974), адсорбцией на древесном угле (*Liese K. H.*, 1977), вымораживанием пробы или встряхиванием с целлюлозой (*Buzba P.*, 1978). Эти методы концентрирования не получили распространения в виду больших трудовых затрат и больших объемов проб воды.

После концентрирования ртуть определяют различными методами: непламенной атомной абсорбцией (способ холодного пара:

Dal Pont G., Major G. A., 1978; *Kunezil, Komazek J., Somtegi* 1979; *Luize R. I.*, 1979; *Sugawara K.*, 1978; *Узе А. М.*, 1975); нейтронной активацией (*Buzba P.*, 1978; *Liese K. H.*, 1977) и атомной флуоресценцией (*Ригин В. И.*, 1979; *Узе А. М.*, 1975). Чувствительность методов равна 0,5 нг/л (*Dal Pont G., Major G. A.*), на приборе МАС-50-2 нг/л (*Fitzgerald W. F., Lyons W. B., Hunt C. D.*), 50 нг/л (*Buzba P.*) и 0,3 нг/л (*Ригин В. И.*).

Большие исследования по определению ртути в объектах биосферы и, в частности, в воде, проведены А. К. Прокофьевым (1983 г.). А. К. Прокофьев, Т. В. Степанченко (1981 г.) предложили методику определения лабильной ртути в морской воде и общей ртути в донных осадках методом атомной абсорбции в холодных парах.

В Советском Союзе используются 2 способа определения ртути в воде при геохимических поисках. Первый способ предложен В. З. Фурсовым в 1973 г. Он основан на полном выпаривании воды. Объем анализируемой воды 10-100 мл. При этом предусмотрено избирательное поглощение ртути подогретым золотым сорбентом из паров воды. При выпаривании аликвоты пары воды, ртути и других веществ проходят через золотой сорбент, который подогрет до 180°C.

Пары ртути адсорбируются на золотой сорбент, а пары воды и газы удаляются в атмосферу. После выпаривания анализируемой аликвоты температура золотого сорбента повышается до 600°C . Ртуть возгоняется и поступает без мешающих паров и примесей в атомно-абсорбционный фотометр, где производится измерение ее содержания. При выпаривании аликвоты может образоваться сухой остаток. Его нужно подвергать анализу на ртуть отдельно, тогда общее содержание ртути в воде определяется путем расчетного суммирования (прямое определение + ртуть в сухом остатке).

Второй способ основан на восстановлении ртути в растворе до атомарного состояния и переводе ее в атомно-абсорбционный фотометр. Золотой сорбент применяется холодным или подогретым. Некоторые исследователи выполняют анализ без сорбента.

В секторе геохимических методов прогнозирования Института минеральных ресурсов разработано 2 методики определения ртути в воде (Е.А.Пономарев, В.А.Пономарева, 1978; А.З.Анищенко, С.И.Кирикилица, 1979; Н.Н.Колесник, Н.Е.Бобракова, 1986). Ход анализа по первой методике:

- к 500 мл анализируемой воды добавляется 13,6 мл концентрированной серной кислоты (концентрация раствора доводится до однонормальной), что способствует переводу ртути в двухвалентное состояние и полному окислению органических соединений, которые могли бы помешать определению ртути на приборе;

- с целью избавления от восстанавливающих веществ в пробе приливают сернокислый раствор калия марганцевокислого (0,2% раствор в 0,1-нормальной серной кислоте) до получения розового цвета;

- избыток реактива восстанавливается 2% раствором гидро-

ксиламина путем приливания по каплям;

- после выдержки 2 - 5 мин. в пробу добавляли 3 мл двуххлористого олова (2% раствор в 20% соляной кислоте);

- прибавление двуххлористого олова вызывает бурную реакцию восстановления растворенной ртути в воде до атомарной и выделение ее из воды, поэтому сосуд с пробой немедленно через барбатор и влагопоглотитель (прокаленный хлористый кальций) подсоединяется к измерительному блоку атомно-абсорбционного фотометра.

Барбаторирование пробы воды объемом 500 мл проводят долго. Поэтому полезный сигнал на фотометре растягивается на 3 - 5 минут. Для концентрирования паров ртути лучше применять золотой сорбент. Это позволяет повысить чувствительность анализа и уменьшить объем анализируемой пробы до 100 - 50 мл. При этом обязательно должна осуществляться защита струнного сорбента, т.е. нихромовой основы сорбента от корродирующего действия агрессивного кислотного тумана, образующегося при барбаторировании. Защита холодного или подогретого сорбента осуществляется с помощью хлористого кальция. Золотой струнный сорбент состоит из нихромовой проволоки диаметром 0,2 мм, обвиваемой золотой нитью диаметром 0,02 мм. Масса золота 0,5 г.

Ход анализа по второй методике (стандарт ИМП - СТП-15-14-84 и статья Н.Н.Колесник, Н.Е.Бобраковой "Определение ртути в природных водах методом атомной абсорбции". Заводская лаборатория, № 11, 1986, с.35) описан ниже. Методика позволяет определить содержания ртути в воде с чувствительностью 4×10^{-9} г/л.

Аппаратура, реактивы и материалы

Для проведения анализа применяют:

- ртутный атомно-абсорбционный фотометр РАФ-1 завода "Казгеофизприбор" г.Алма-Ата;

- электронную приставку для регулирования температуры подогрева и прокаливания сорбента и времени реакции и прокаливания, изготовленную в Институте минеральных ресурсов;

- реактор, барботер, колбы мерные по ГОСТ 1770-74Е, пипетки мерные по ГОСТ 20292-74В, цилиндры мерные по ГОСТ 1770-74Е;

- кислоту соляную концентрированную по ГОСТ 14261-77 "осч" или "хч", кислоту азотную концентрированную по ГОСТ III25-78 "осч" или "хч";

- фильтры-поглотители: а) едкий натрий 40%-ный по ГОСТ II078-78 готовят растворением 40 г едкого натра в небольшом количестве деионизированной воды и после охлаждения доводят объем раствора до 100 см³ деионизированной водой; б) хлористый кальций гранулированный прокаленный получают выпариванием растворов в дистиллированной воде кристаллов $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ по ГОСТ 246-76 и дальнейшим прокаливанием сухой соли; в) окись серебра гранулированную получают действием едкого калия на раствор азотнокислого серебра по ГОСТ 1277-75 с последующим отделением осадка и перемешиванием его с жидким стеклом (силикатный клей). Сушка производится при температуре 100-150⁰С в сушильном шкафу;

- раствор двухлористого олова 10%-ный по ГОСТ 36-78, который готовят растворением навески двухлористого олова массой 50 г в 125 см³ концентрированной соляной кислоты при слабом нагревании. После охлаждения и просветления раствора его разбавляют деионизированной водой до 500 см³. Раствор используют в день приготовления;

- консервирующий раствор готовят смешиванием 5 см³ раствора бихромата калия по ГОСТ 4220-75 с массовой концентрацией 40 г/л и 50 см³ концентрированной азотной кислоты на 1000 см³ водной пробы;

- раствор разбавления готовят смешиванием тех же реактивов и в том же количестве, что для консервирующего раствора и доведением до 1000 см³ деионизированной водой.

Стандартные растворы соли ртути (П):

а) раствор А готовят растворением 17 г нитрата ртути (П) по ГОСТ-4520 в 20 см³ азотной кислоты (2 : 3). После растворения соли раствор разбавляют деионизированной водой до 1000 см³ и тщательно перемешивают. Раствор годен к употреблению через 1-2 дня. Титр раствора устанавливается по хлориду натрия, либо по роданиду аммония. Он может храниться в течение длительного времени (до 3-х месяцев) в склянках из коричневого стекла с притертой пробкой;

б) раствор Б готовят разбавлением в 100 раз раствора А в мерной колбе на 1000 см³ раствором разбавителя;

в) растворы В, Г, Д готовят разбавлением в 100 раз соответственно растворов Б, В, Г в мерных колбах на 1000 см³ раствором разбавления. Растворы Б, В, Г, Д готовят в день применения.

Деионизированную воду получают путем пропускания дистиллированной воды через ионитный фильтр, представляющий собой смесь катионита КУ-2-8 чс по ГОСТ 20298-74 и анионита АВ-17-8 чс по ГОСТ 20301-74, взятых в соотношении 1 : 1, считая на объем в набухшем состоянии. Качество воды контролируется кондуктометром с проточным чувствительным элементом. Удельная электрическая проводимость деионизированной воды должна быть не ниже 3×10^{-7} ом/см.

Дистиллированную воду получают по ГОСТ 6709-72.

Ход анализа

К аликвоте 50 см³ приливается 5 см³ 10%-ного раствора дву-хлористого олова и барботируется в течение 3-х минут со скоростью I л/мин. Для исключения загрязнения ртутью, присутствующей в воздухе лаборатории, на входе барботера установлен фильтр с гранулированной окисью серебра.

Пары ртути в токе воздуха протягиваются через фильтры-поглотители: 40% раствор едкого натрия и прокаленный хлористый кальций для очистки от кислотно-водного тумана. Ртуть адсорбируется на золоте, подогретом до температуры 160-180⁰С. В результате прокаливания золотого сорбента электрическим током при температуре 600-650⁰С ртуть десорбируется и поступает в РАФ-I. Показания прибора фиксируются в процентах и пересчитываются в г/л.

Содержание ртути в аликвоте 50 см³ определяется по градуировочному графику. Последний строится следующим образом. В мерные колбы на 50 см³ наливают 2, 4, 6, 8 см³ стандартного раствора Д и 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0 см³ стандартного раствора Г и доводят до метки растворы разбавления. Замеряют количество выделенной ртути по шкале прибора после восстановления ее раствором дву-хлористого олова. По данным строят градуировочный график (по оси абсцисс заданное содержание ртути в г в аликвоте 50 см³, а на оси ординат - вычисленное по замерам на приборе РАФ-I). Содержание ртути в 50 см³ воды определяется по формуле:

$$C = \frac{0,5 \times p \times 10^{-7}}{100} = 0,5 \times p \times 10^{-9}$$

где: C - содержание ртути в аликвоте 50 см^3 рассчитанное;
 $\text{п} \times 10^{-7}$ - показания прибора РАФ-1; 0,5 - масса навески,
на которую рассчитаны шкала и настройка прибора.

Для определения содержания ртути в воде в г/л рекомендуются формулы:

$$C_x = 20 \times C$$

$$C_x = \frac{0,5 \times \text{п} \times 10^{-7} \times 20}{100} = \text{п} \times 10^{-8}$$

где: 20 - коэффициент для увеличения объема аликвоты до 1 л.

Отбор, хранение водных проб

Посуда, в которую отбирается проба воды должна быть тщательно вымыта и проверена на загрязненность ртутью. Бутылки ополаскивают 0,1%-ным раствором перманганата калия и заливают на 12 часов 2%-ным раствором азотной кислоты, затем ополаскивают деионизированной водой. Затем, посуду заливают на 1 сутки раствором разбавления (консервант в деионизированной воде) и проверяют на содержание ртути способом, описанным выше. Бутылки, в которых обнаружена ртуть, могут повторно. Если в них снова устанавливается содержание ртути, то их отбраковывают.

Для замедления процессов сорбции ртути стенками бутылок и образования органических комплексов ртути водную пробу консервируют в течение часа с момента ее отбора (Прокофьев А.К., Степанченко Т.В., 1981; Каталевский Н.И., Аниканов А.М., Семенов А.Д., 1981; Прокофьев А.К., 1983; *Jenne E.A.*, 1970; *Ward F.M.* 1970). В качестве консерванта применяют смесь 0,5 мг бихромата калия

с массовой концентрацией 40 г/л и 5 мл концентрированной серной кислоты на 100 мл пробы.

Все реактивы как для консервирования, так и для анализа должны быть марки хч или осч. В реактивах должно быть определено содержание ртути для учета сигнала холостого хода. При хранении реактивов должна учитываться сорбция ими ртути из воздуха лаборатории. Неучет этих факторов ведет к завышению содержания ртути в воде.

По данным А.К.Прокофьева, Т.В.Степанченко и других показано, что за последние годы произошли существенные изменения в представлениях о содержании следовых элементов в природных средах. Так, в морской воде экспериментально доказано, что содержится ртути 5-40 нг/л, а не сотни нанотрамм или даже миллиграммы в литре, как это считалось 5-7 лет назад. Пробы воды сильно загрязнялись ртутью из реактивов, дистиллированной воды, посуды, воздуха и т.д., что привело к сильно завышенным ее концентрациям в природных средах.

2.3.4 Атомно-абсорбционное определение ртути в растениях

Пробы растений сушатся и режутся ножом. Размер частиц \leq 1 мм. Затем взвешиваются на аналитических весах 25 мг. Навеска подвергается прямому определению содержания ртути в растениях. Дым отгоняется с помощью УДР (рис.7). Для анализа изготовлены специальные дозаторы.

2.3.5 Спектральный анализ

Спектральный анализ выполняется по методике В.Г.Теплякова

способом попеременного фотографирования исследуемой пробы и рабочего стандарта на спектрографе СТЭ-1 с приставкой УСА-6. Чувствительность анализа (в %): Ag - 2×10^{-6} ; Mo - 5×10^{-5} ; Be, V, Bi, Ge, Ga, In, Mn, Cu, Mg, Ni, Sn, Pb, Te, Cz - 1×10^{-4} ; B, W, Cd, Na, Sc, Ti - 3×10^{-4} ; Co - 4×10^{-4} ; Y, Yb, La, Li, Al, Fe, Ca, Si, Au, Nb, Hg, Zn - 1×10^{-3} ; Hf, Sb, Tl, U, Ce - 3×10^{-3} ; As - 5×10^{-3} ; Ta, Ba, Te - 1×10^{-2} ; F - 2×10^{-2} ; Sz - 3×10^{-2} ; P - 4×10^{-2} .

2.4 Определение ртути в почвенном и атмосферном воздухе

В Институте минеральных ресурсов сконструированы пробоотборники и приборы ИМП-1 и ИМП-2 (рис. 8) для определения содержания ртути в почвенном и атмосферном воздухе. Приборы портативные. Вес прибора 6 кг. Чувствительность анализа 1×10^{-8} мг/л. Производительность 100 - 200 анализов в смену при благоприятных метеорологических и ландшафтно-геохимических условиях.

2.5 Методика подсчета прогнозных ресурсов по литохимическим потокам рассеяния

Количественная интерпретация литохимических потоков рассеяния разработана А. П. Соловьевым. Оценка завершается подсчетом прогнозных ресурсов по формуле А. П. Соловьева:

$$Q'_H = \frac{1}{40 \cdot k' \cdot k} H \sum_{i=1}^m P'_i$$

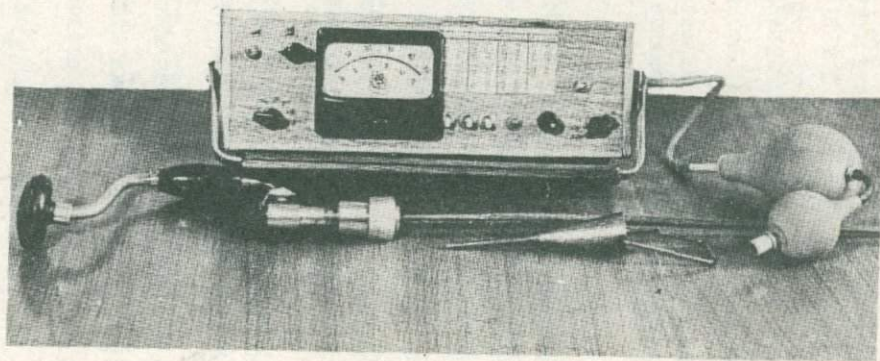


Рис.8. Общий вид прибора ИМР-2 и пробоотборников

где: Q'_H - прогнозные ресурсы, т; H - глубина подсчета в метрах, выбранная по геологическим данным; k', k - местные коэффициенты пропорциональности; $\sum_{i=1}^m P_i$ - суммарная продуктивность выявленных потоков рассеяния в м² %.

Методика подсчета прогнозных ресурсов по литохимическим потокам рассеяния подробно описана в работах А.П.Соловова, А.А.Матвеева; 1985; А.П.Соловова, 1985; А.П.Соловова, Ю.В.Шарова, 1980; Е.М.Квятковского, 1977 и других.

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ РТУТНЫХ И ДРУГИХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЙНИЯ

Литохимические исследования по потокам рассеяния проведены нами в различных регионах Советского Союза: Донецкая область - (Славянское, Дружковско-Константиновское, Никитовское ртутнорудные поля, Берестянское стратиформное рудопоявление меди, редкометальное рудопоявление); Крымская область - (ртутнорудные рудопоявления: Лозовское, Альминское, Веселовское; Акватория Черного моря, озера Саки, Сасык и Майнаки); Закарпатье (ртутнорудные рудопоявления Боркут, Большой Шоян); Средняя Азия (Хайдарканское ртутнорудное поле); Красноярский край и Тувинская АССР (Чернореченское ртутное рудопоявление, Хову-Аксинское кобальто-никелевое арсенидное рудное поле).

Ниже приводится краткая характеристика результатов исследований по отдельным регионам.

3.1 Литохимические исследования по потокам растения в условиях Донецкой области

В ландшафтно-геохимических условиях Донецкой области выполнены исследования на трех ртутных и одном редкометальном рудных полях.

3.1.1 Славянское ртутное рудное поле

Славянское рудное поле приурочено к Славянской брахиантиклинальной структуре, имеющей субширотное простирание. В юго-восточном направлении структура сопрягается с Артемовской анти-

клиналью, образуя единую Артемовско-Славянскую антиклинальную зону. К северо-западу длинная ось брахиантиклинали ориентирована к Корульскому куполу. С юго-запада структура ограничена Часовьярско-Краматорской мульдой, с северо-востока - Белогоровско-Каменской синклиналью. В плане Славянская брахиантиклиналь имеет форму эллипса, размеры которого по выходам на поверхность юрских отложений составляют 15 x 30 км. Южное крыло складки падает под углом $23-25^{\circ}$, а северное - $18-20^{\circ}$. С увеличением глубины углы падения крыльев выволаживаются (Кирикилица, Ласьков, 1970; Белоус, Кирикилица, 1975). Рудопроявление ртути находится в северо-западном замыкании брахиантиклинали, осложненной внедрившимся Адамовско-Бугаевским соляным штоком.

В геологическом строении принимают участие осадочные отложения от девонского до четвертичного возраста. Большой вклад в изучение рудопроявления внесли В.В.Ильин, Э.К.Родина, В.Н.Флоринская.

Ртутные руды приурочены к местам перегиба Южного сброса, являющегося рудоконтролирующей и рудовмещающей структурой. Простирание его субширотное, а падение изменяется от 45 до 80° . Мощность тектонической зоны сброса колеблется от 50 до 150 м. Вмещающими породами являются брекчии кепрока соляного штока ($D_3 - P_I$), песчаники, алевролиты и аргиллиты карбона, перми и триаса. Околорудные изменения вмещающих пород выражаются в аргиллизации, битумизации, гидрослюдизации и окварцевании (Скаржинский, 1973; Щербань, Шевченко, 1981; Китык и др., 1981; Белоус, Кирикилица, 1983).

Главные гипогенные рудные минералы представлены киноварью, пиритом, марказитом, галенитом, сфалеритом и мельниковитом. Не-

рудные минералы сложены кальцитом, анкеритом, доломитом, битумами, баритом, диккитом, кварцем, гидрослюдой, флюоритом и др. В зоне гипергенеза встречаются самородная сера, гипс, ангидрит, барит, церуссит (Смирнов и др., 1976; Китык и др. 1981).

Славянское глубокозалегающее рудопроявление ртути относится к гидротермальному кварц-диккит-битумо-киноварному типу. Характерной особенностью является повышенная битуминозность рудовмещающих брекчий и песчаников нижнего триаса (ранее датировались дроновской свитой нижней перми). В твердых битумах находятся заметные концентрации кристаллической киновари. Нижняя граница оруденения пока не установлена. Протяженность оруденения по простиранию и падению, а также их мощность сильно изменяются. Содержание ртути в рудах крайне неравномерное. Вокруг рудных тел наблюдаются эндогенные ореолы рассеяния ртути, свинца, цинка, мышьяка, меди, хрома, молибдена, бария и других элементов.

Для производства поисков глубокозалегающих ртутных руд в солянокупольных структурах требуется бурение большого объема скважин. Это ведет к большим затратам материальных и денежных средств и к затягиванию времени опоскования солянокупольных структур. Для повышения эффективности геологоразведочных работ и уменьшения сроков проведения поисков нами рекомендуются следующие этапы:

1. Литохимические поиски глубокозалегающих ртутных руд по потокам рассеяния масштаба I : 50000;
2. литохимические поиски ртутных руд по экзювио-делювиальным образованиям масштаба I : 10000, на выделенных перспективных площадях по первому этапу;
3. количественная оценка вторичных литохимических ореолов рас-

сеяния и обоснование для постановки буровых работ;

4. буровые работы и поиски по первичным литохимическим ореолам.

В первый этап литохимические поиски по потокам рассеяния выполнены на площади 32 км^2 (рис.9). Опробована овражно-балочная система длиной 18,6 км по балкам (с севера на юг): Руденька 2, Руденька 1, Шахтная, Глубокая, Гороховая, Шахтерская. Балки впадают в искусственно созданные пруды по ручью Голая Долина. Они ориентированы параллельно рудоносной зоне. Последняя находится между балками Руденька 1 и Шахтная.

По донным отложениям отобрано 389 проб. Шаг пробоотбора 50 м. В пробу отбирался илистый, глинистый, песчано-илистый и песчано-глинистый материал. Плотность пробоотбора составляла 12 проб на 1 км^2 . В результате литохимических поисков по пролювио-аллювиальным образованиям масштаба 1:50000 обнаружено 2 потока рассеяния ртути. Содержание ртути в потоках варьируют от 60×10^{-7} до $900 \times 10^{-7} \%$ при фоне $20 \times 10^{-7} \%$. Общая длина потоков по б.Руденька 1 - 1,0 км, а по б.Шахтная - 0,4 км. Потоки имеют сложное строение. Перспективная площадь локализована в 4 раза.

Во второй этап проведены литохимические поиски по элювио-делювиальным образованиям масштаба 1:10000. Сеть пробоотбора $100 \times 20 \text{ м}$. Глубина отбора проб 0,05 - 0,30 м. На площади $8,0 \text{ км}^2$ отобрано 4120 проб. Обнаружено большое количество вторичных литохимических ореолов рассеяния ртути, свинца, цинка, меди, бария, молибдена, марганца и других элементов. Отдельные технические и геохимические параметры ореолов приведены в таблице 25.

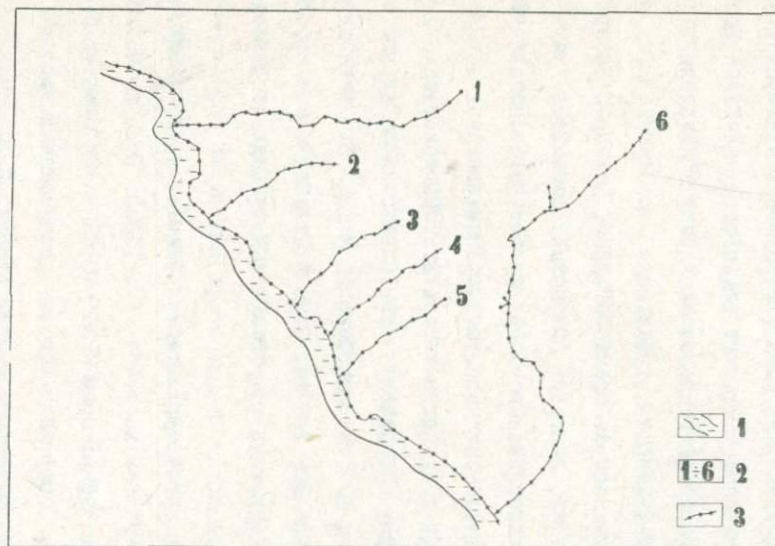


Рис.9 Схема отбора литохимических проб из пролювио-аллювиальных отложений Славянского рудного поля и его района

1 - искусственные пруды по б.Голая долина; 2 - номера балок (соответственно): Руденька 2, Руденька I, Шахтная, Глубокая, Гороховая, Шахтерская; 3 - места отбора литохимических проб из пролювио-аллювиальных отложений.

Таблица 25

Технические и геохимические параметры вторичных литохимических ореолов рассеяния

Элемент	Единица измерения, %	Фоновое содержание	Стандартный множитель	Содержание элемента в ореолах	
				минимальное	максимальное
1	2	3	4	5	6
Mg	п х 10 ⁻⁷	31	1,26	60	1700
As	п х 10 ⁻³	n/o	-	6,3	10
Li	п х 10 ⁻³	2,6	1,23	4	4
Pb	п х 10 ⁻⁴	15	1,20	25	80
Zn	п х 10 ⁻³	7	1,37	13	63
Cu	п х 10 ⁻³	3,2	1,20	4	10
Ba	п х 10 ⁻²	4,7	1,25	6	10
Mo	п х 10 ⁻⁵	21	2,10	100	630
Mn	п х 10 ⁻³	66	1,25	100	630
Co	п х 10 ⁻⁴	17	1,29	22	60
Ni	п х 10 ⁻⁴	70	2,00	140	1500
Cz	п х 10 ⁻⁴	620	2,74	1700	10000
Yt	п х 10 ⁻⁴	8,5	1,17	15	50
La	п х 10 ⁻³	2	1,35	3,2	8,0
Be	п х 10 ⁻⁴	1,9	1,20	3,2	4,0
W	п х 10 ⁻⁴	1,7	1,70	5,0	6,3
Sr	п х 10 ⁻⁴	5,0	1,12	6,3	10,0
Zr	п х 10 ⁻³	23	1,26	29	63
Y	п х 10 ⁻³	1,9	1,30	3,2	5,0
Ue	п х 10 ⁻⁴	1,3	1,20	2,0	3,2
Ti	п х 10 ⁻²	50	1,14	63	100

1	2	3	4	5	6
<i>Mg</i>	п х 10^{-1}	6	2,10	12	63
<i>V</i>	п х 10^{-4}	110	1,30	150	200
<i>Te</i>	п х 10^{-4}	н/о	-	2	2,5
<i>Bi</i>	п х 10^{-4}	1,7	1,17	2,5	3,2
<i>Nb</i>	п х 10^{-3}	2,0	1,10	2,5	3,2
<i>Ag</i>	п х 10^{-6}	3,2	1,10	2,0	4,0
<i>B</i>	п х 10^{-3}	4,5	1,20	6,3	9,0
<i>Sc</i>	п х 10^{-4}	10	1,30	15	25
<i>Yb</i>	п х 10^{-4}	2,6	1,20	4	5
<i>Ce</i>	п х 10^{-3}	н/о	-	2,5	4,0
<i>P</i>	п х 10^{-2}	7,6	1,17	10	50

Наиболее информативными для поисков глубокозалегающих ртутных руд в солянокупольных структурах являются: ртуть, свинец, цинк, медь, серебро, молибден, марганец, кобальт, никель, хром, галлий, лантан, магний, фосфор, фтор.

В результате опережающих геохимических поисков по первому и второму этапам зафиксировано глубокозалегающее Славянское ртутное рудопроявление и выявлено 2 перспективных участка: Западный и Восточный (рис.10).

3.1.2 Дружковско-Константиновское рудное поле

Дружковско-Константиновское рудное поле приурочено к одноименной антиклинали протяженностью около 40 км. В геологическом

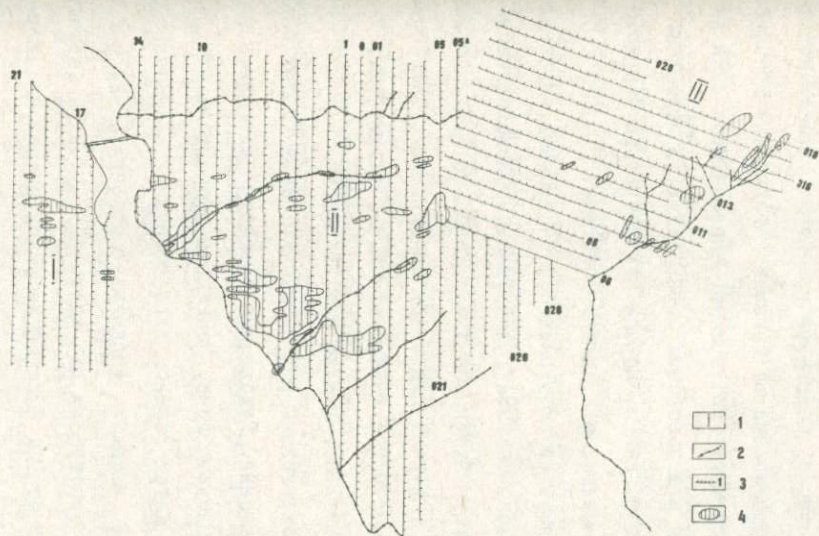


Рис. 10 Схема вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния ртути на Славянском рудном поле и в его районе

I - участки: I - Западный; II - Центральный; III - Восточный; 2 - места отбора литохимических проб из пролювия-аллювия; 3 - места отбора проб из элювия-делювия по профилям и их номера; 4 - вторичные литохимические ореолы с содержанием ртути от 60×10^{-7} до 1700×10^{-7} .

строении принимают участие отложения карбонового, пермского, третичного и четвертичного возраста. Ядро складки сложено породами верхнего карбона (свиты C_3^I , C_3^2 , C_3^3). Скважинами вскрыты также отложения свит среднего карбона (свиты C_2^5 , C_2^6 , C_2^7). Каменноугольные отложения состоят из чередующихся слоев аргиллитов, алевролитов, песчаников с тонкими прослоями известняков и углей. Палеозойские образования на крыльях антиклинали трансгрессивно перекрыты мезозойскими отложениями, окаймляющими антиклиналь. На палеозойских и мезозойских образованиях в отдельных местах залегают третичные глины. Породы четвертичного возраста представлены пролювио-аллювием и элювио-делювием.

Большой вклад в изучение геологического строения, минералогического и вещественного состава руд Дружковско-Константиновского рудного поля внесли Чубинидзе Х.И., Сафшкин П.А., Кириклица С.И., Андрич Р.И., Курило П.Д., Ольховский Н.Я., Александровский В.П., Драновский И.М., Левенштейн М.А., Ильин В.В., Григорьев В.И., Флоринская В.Н., Родина Э.К. и другие.

Главную роль в локализации ртутного оруденения играют надвиговые и сбросовые нарушения. Рудоносные растворы двигались фронтально по Осевой ослабленной зоне. Последняя сформировалась при складкообразовании, а затем неоднократно подновлялась. Зона оперяется серией взбросов, имеющих амплитуду смещения 15-20 м и северо-западное падение сместителя под углом 60° . В месте сопряжения Осевой ослабленной зоны с Константиновским нижним надвигом, служившим экраном, происходило отложение киноварных руд. В пределах Дружковско-Константиновской антиклинали условно выделяется

8 участков (с северо-запада на юго-восток): Марьевский, Суровский, Дружковский, Кондратьевский западный, Кондратьевский вос-

точный, Куртовский, Константиновский, Сантуриновский. Глубоко-залегающие ртутные руды (450-800 м от дневной поверхности) обнаружены на участках: Константиновском, Сантуриновском, Куртовском, Дружковском и Суровском. Руды относятся к надвиговому типу. Вмещающими породами являются песчаники, аргиллиты и алевролиты верхнего карбона. По минералогическому составу руды относятся к кварц-диккит-киноварному типу ртутной формации. На Дружковском и Суровском рудопроявлениях до глубины 800 м преобладает кварц-диккит-киноварь-реальгаровый тип руд. Глубже 800 м ожидается распространение кварц-диккит-киноварного типа.

Вокруг рудных тел наблюдаются эндогенные ореолы ртути, мышьяка, сурьмы и других элементов. Они имеют сложное строение. Размеры их во много раз превосходят таковые рудных тел. Только надрудная часть ореолов прослеживается на расстоянии более 0,5 км, а общая протяженность ореолов по восстанию превышает 1,6 км. В результате разрушения эндогенных ореолов образуются вторичные литохимические ореолы и потоки рассеяния.

Дружковско-Константиновская антиклиналь хорошо выражена в рельефе и имеет вид вытянутого с юго-востока на северо-запад поднятия. Вкрест его простирается развита овражно-балочная система р.Кривой Торец. Поиски глубокозалегающих ртутных руд по потокам рассеяния масштаба 1:50000 проведены нами на площади 200 км². С юго-востока на северо-запад находятся балки: Долгенькая, Большая Грузская, Лукашевская, Рассоховатая, Виллянская, Северная и Суровская. Балки очень врезаны и в их подошве наблюдаются, в отдельных местах, выходы коренных пород. Расстояние между ними в указанном направлении равно в километрах: 4,5; 3,25; 3,75; 2,00; 1,25.

Балка Северная расположена на северном крыле антиклинали в 1,0 км от б. Вилянской. Дебит ручьев в балках незначительный. Питание ручьев происходит за счет атмосферных осадков и подземных вод. Отдельные балки имеют сложное строение за счет впадения в них нескольких ключей.

Литохимическое опробование овражно-балочной системы проводилось через 50 м (рис. II). В пробу отбирался глинисто-илистый, песчано-илистый и илистый материал. Вес одной пробы 30-50 г. Всего отобрано 1100 проб, при длине овражно-балочной системы 55,0 км. Плотность пробоотбора составила 5,5 пробы на 1 км. Пробы сушились, затем просеивались через сито 0,5 мм и подвергались анализам. Содержание ртути в донных отложениях варьирует от 18×10^{-7} до 34×10^{-5} %, при фоне 30×10^{-7} %. При этом наблюдается закономерное увеличение содержания ртути в донных осадках по мере приближения к Константиновскому рудопроявлению. Это свидетельствует, что литохимическим методом по потокам рассеяния фиксируются глубокозалегающие ртутные руды. В результате исследований обнаружено 5 контрастных и интенсивных потоков рассеяния (рис. I2). Поток 1 приурочен к б. Большая Грузская. Длина его 4 км. Содержание ртути в пролювио-аллювиальных отложениях колеблется от 1×10^{-5} до 34×10^{-5} %. Этот поток фиксирует глубокозалегающие ртутные руды Константиновского рудопроявления. Поток 2 обнаружен по б. Лукашевская. Литохимический поток ртути развит по двум ручьям и частично по балке. Длина его 2,5 км. Содержание ртути в донных отложениях варьирует от 1×10^{-5} до 1×10^{-4} %. Поток 3 находится по б. Рассоховатая. Это техногенная аномалия, образованная за счет сбросов отходов производства. Длина потока 1,3 км. Содержание ртути в осадках изменяется от 1×10^{-5} до 4×10^{-5} %.

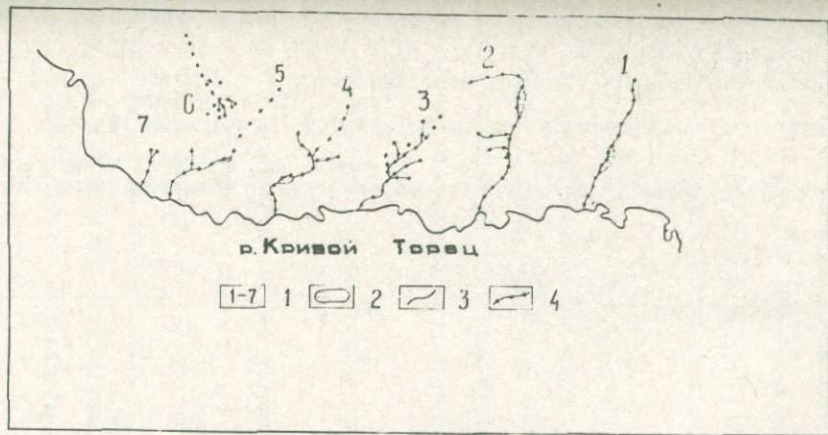


Рис. II

Схема отбора литохимических проб из пролювио-аллювиальных отложений Дружковско - Константиновской антиклинали

1 + 7 - балки: Долгенькая, Большая Грузская, Лукашевская, Рассохватая, Вилянская, Северная, Суровская;

2 - искусственные ставки; 3 - река Кривой Торец; 4 - места отбора литохимических проб по балкам.

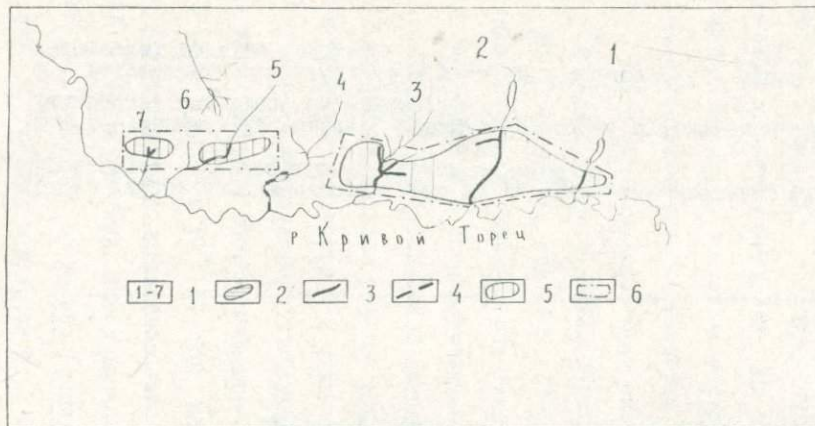


Рис.12 Схема литохимических потоков рассеяния ртути на Дружковско-Константиновском рудном поле и в его районе

1 + 7 бабки: Долгенькая, Большая Грузская, Лукашевская, Рассоховатая, Вилянская, Северная, Суровская;
2 - ставки (пруды); 3 - литохимические потоки рассеяния с содержанием ртути от 100×10^{-7} до $12000 \times 10^{-7} \%$; 4 - вторичные литохимические ореолы рассеяния ртути; 5 - площадь перспективная на ртутные руды.

Поток 4 расположен в среднем течении ручья б.Вилянская. Длина потока 1,0 км. Содержание ртути в потоке колеблется от 1×10^{-5} до $12 \times 10^{-5}\%$. Поток 5 зафиксирован в верховьях б.Суровской. Общая длина потока 0,5 км. Содержание ртути в аллювии изменяется от 1×10^{-5} до $2,6 \times 10^{-5}$.

Наиболее перспективными на обнаружение новых рудных тел являются потоки 2 и 4. На площади развития ореола 2 нами проведены геологические маршруты по ручью 2. В результате геологических маршрутов обнаружены обломки кальцита, в которых содержание ртути равно 0,001%.

Все литохимические потоки ртути приурочены к апикальным частям Дружковско-Константиновской антиклинали. По ним выделена перспективная площадь 40 км². Во вторую стадию второго этапа проведены газортутные и литохимические (по элювио-делювиальным образованиям) съемки масштаба 1:10000 на выделенной перспективной площади 40 км².

Таким образом, перспективная площадь 200 км² локализована в 5 раз.

Во второй этап проведены профильные и площадные литохимические поиски. Профили в обоих случаях заложены вкрест простирания оси складки по азимуту 30°. В первом варианте расстояние между профилями 0,4 км на Константиновском участке, 1 км на остальных участках (Сантуриновском, Куртовском, Кондратьевском восточном, Кондратьевском западном, Дружковском, Суровском, Марьевском). Работы выполнены на 22 профилях. Длина профилей варьирует от 1,0 до 2,1 км. Шаг пробоотбора 20 м. Пробы отбирались из-под дерна с глубины 20-30 см. В отдельных местах сводююй части антиклинали, где выходят на поверхность коренные породы и плохо

развиты почвы, в пробу отбиралась мелкая фракция элювио-делювиальных с глубины до 5 см. Всего отобрано 3000 проб. В результате проведенных профильных литохимических исследований установлено:

- литохимические поиски по элювио-делювиальным образованиям являются эффективными при поисках глубокозалегающих ртутных руд;

- глубокозалегающие ртутные руды хорошо фиксируются вторичными положительными ореолами рассеяния Hg , As , Sb , Zn , Cu , Pb , Zn , Ag , Bi , Ba , Sn , Mn , Mo , W и других элементов и отрицательными (ореолами выщелачивания) Ce , Ni , и Co ;

- наиболее контрастные и интенсивные вторичные литохимические ореолы Hg , As , Pb , Zn , Ag , Bi , Ba , Mn , Mo ;

- по ореолам рассеяния отчетливо устанавливается местоположение выхода на дневную поверхность рудовмещающего Константиновского нижнего надвига;

- критериями для прогнозирования служат:

а) одинаковое минимально-аномальное содержание ртути в первичных и вторичных литохимических ореолах, равное $1 \times 10^{-5} \%$;

б) наличие комплексных вторичных литохимических ореолов рассеяния с повышенной интенсивностью и продуктивностью;

в) большие размеры вторичных литохимических ореолов рассеяния ртути и значения ее линейной продуктивности;

г) закономерное изменение коэффициента гипергенного рассеяния

Площадные исследования проведены на площади 40 км^2 в масштабе 1:10000 (по сети $100 \times 20 \text{ м}$) в комплексе с газортутной съемкой (А.В.Анищенко., В.И.Морозов и др.) (рис.13, 14). Обнаружено 173 вторичных литохимических ореола ртути.

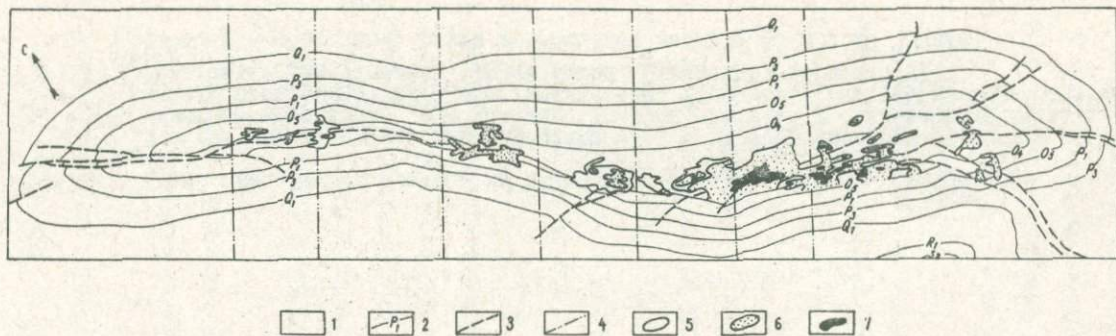


Рис.13 Схема вторичных литохимических ореолов рассеяния ртути на Дружковско-Константиновском рудном поле

1 - песчаники, алевролиты, аргиллиты; маркирующие горизонты; 2 - тектонические нарушения; 3 - условные границы участков (с юго-востока на северо-запад: Сантуриновский, Константиновский, Куртовский, Кондратьевский восточный, Кондратьевский западный, Дружковский, Суровский, Марьевский);

4, 5, 6, 7 - содержание ртути в аллювио-делювиальных образованиях (в п.п. 10^{-7} %):
 : (100 - 300), (300 - 900), (900 - 5000).

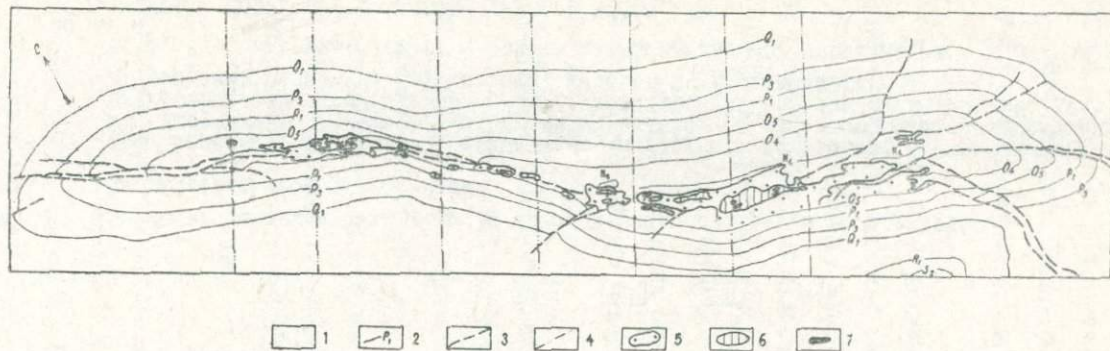


Рис.14 Схема газортутных ореолов на Дружковско-Константиновском рудном поле

1 - песчаники, алевролиты, аргиллиты; 2 - маркирующие горизонты; 3 - тектонические нарушения; 4 - условные границы участков (с юго-востока на север-запад; Сантуриновский, Константиновский, Куртовский, Кондратьевский восточный, Кондратьевский западный, Дружковский, Суровский, Марьевский);
 5, 6, 7 - содержание ртути в почвенном воздухе (в п х 10^{-8} мг/л): (1 - 3), (8 - 9), (9 - 48).

В результате количественной оценки вторичных литохимических ореолов к перспективным нами отнесены 6 на участках: Сантуриновский- 2 (№ 69, 70); Константиновский и Куртовский - (№ 78); Куртовский и Кондратьевский восточный -I (№ 100); Кондратьевский западный- I (№ 130); Дружковский и Суровский - I (№ 155). Ниже приводится краткая характеристика перспективных вторичных литохимических ореолов рассеяния.

Ореол 69 имеет очень сложное строение. Эффективная его ширина изменяется от 220 до 100 м. Длина ореола равна 4,5 км. Содержание ртути в нем варьирует от 1×10^{-5} до 6×10^{-5} % при фоновом содержании 35×10^{-7} %.

Ореол 70 имеет сложное строение и конфигурацию. Эффективная ширина его колеблется от 200 до 350 м. Длина ореола 3,6 км. Содержание ртути в ореоле изменяется от 1×10^{-5} до $4,7 \times 10^{-5}$ %.

Ореол 78 в юго-восточной части соединяется с ореолом 69. Длина его 5,2 км, при ширине 0,6 - 1,0 км. Содержание ртути в ореоле от 1×10^{-5} до $5,5 \times 10^{-4}$ %.

Ореол 100 имеет довольно простое строение. Эффективная ширина его изменяется от 180 до 620 м, при общей длине 1,6 км. Содержание ртути в нем изменяется от 1×10^{-5} до $1,7 \times 10^{-4}$ %.

Ореол 130 имеет длину 1,37 км. Его ширина изменяется от 60 до 300 м. Содержание ртути в нем варьирует от 1×10^{-5} до $1,2 \times 10^{-4}$ %.

Ореол 155 сложного строения. Длина ореола 4,3 км, при ширине от 60 до 800 м. Содержание ртути в нем колеблется от 1×10^{-5} до $1,65 \times 10^{-4}$ %.

Гидрохимические поиски выполнены в 1978 г. в комплексе с поисками по потокам рассеяния. Отбор проб воды производился че-

рез 250 м по балке Б.Грузская и родникам. Всего отобрана 41 проба. Объем одной пробы 0,5 - 1,0 л. рН воды изменяется от 6,5 до 8,5. Определение содержания ртути в воде осуществлялось с помощью ртутного атомно-абсорбционного фотометра РАФ-1 с чувствительностью 2×10^{-8} г/л. Содержание ртути в поверхностных и подземных водах варьирует от $10,8 \times 10^{-7}$ до $40,0 \times 10^{-7}$ г/л. Среднее содержание составило $25,2 \times 10^{-7}$ г/л. При этом установлено, что водный поток протяженностью 4,6 км и слабо фиксирует глубокозалегающие ртутные руды, поэтому поиски ртутных руд гидрохимическим методом не рекомендуются.

Результаты литохимических поисков по элювио-делювиальным образованиям легли в основу прогнозной карты на ртуть Дружковско-Константиновской антиклинали масштаба 1:10000. На карте выделены перспективные площади и дано обоснование для постановки буровых работ. Бурение скважин привело к вскрытию ртутных руд на глубине 450 м и более.

3.1.3 Никитовское рудное поле

Никитовское рудное поле расположено в пределах Горловской антиклинали, являющейся западной частью Главной антиклинали Донбасса. Ось Горловской антиклинали вытянута в северо-западном направлении ($290-300^{\circ}$) и погружается с юго-востока на северо-запад. В сводовой части антиклиналь осложнена брахискладками, образующими купола (с запада на восток): Чернобугорский (Малый и Большой), Чернокуртанский, Катушкинский, Софиевский, Чегарникский и полукупол Новый. Они имеют овальную форму. Относительно оси Горловской антиклинали длинные оси куполов повернуты против часовой стрелки на $20-55^{\circ}$. Складчатая структура нарушена продольными

(северо-западными), кососекущими и поперечными тектоническими нарушениями. К ним относятся Секущий, Осевой, Чернокуртанский, Железнянский, Катушкинский, Софиевский, Нежданный и другие надвиги.

Геологическое строение, вещественный и минералогический состав руд Никитовского рудного поля подробно описаны в работах Е.Е.Захарова, Н.И.Королева, Г.А.Крутова, И.Л.Никольского, С.И.Кирилицы, Б.С.Панова, Н.Я.Ольховского, И.М.Драновского, А.Ф.Гороваго, И.П.Щербаня и других исследователей.

В пределах Никитовского рудного поля выделяется несколько участков: Никитовский, Чернобугорский, Чернокуртанский, Катушкинский, Новозаводской, Чегарникский, Мичуринский и Железнянский. Ртутные руды локализуются главным образом в шарнире Горловской антиклинали и зонах пересечения Секущим и Софиевским надвигами мощных пластов песчаников (северное и южное крылья). Оруденение является многоярусным, так как ртутные руды выявлены в разных пластах песчаников-чернокуртанских, софиевских, чегарникских и бормутских. Выделено два типа руд - внутрипластовый и надвиговой. Внутрипластовый тип руд приурочен к подошве мощных пластов песчаников среднего карбона (свиты C_2^2 и C_2^3). Надвиговой тип руд не имеет четкого литологического контроля. Он свойственен как песчаникам, так и сланцам.

Рудные тела имеют сложную форму и строение (жилы простого и сложного строения, линзы и линзообразные тела, штоки и штокверки, пластообразные залежи и гнезда). Главным рудным минералом является киноварь. Из гипогенных рудных минералов распространены антимонит, пирит, марказит, арсенопирит. Нерудные минералы: кварц, диккит, карбонаты, донбассит, гидрослюда и другие. По

минеральному составу Никитовское рудное поле относится к кварц-дискит-киноварному типу сурмянортутной формации. Вокруг рудных тел развиты эндогенные ореолы ртути, мышьяка, сурьмы, лития и других элементов. Наблюдаются ореолы привноса и выноса. Размеры ореолов намного превосходят таковые рудных тел. Ореолы имеют форму рудных тел, но более сложное строение. Первичные ореолы столбо-, бочонко-, грибо- и жилообразные, ветвящиеся вдоль пластов.

Литохимические поиски по потокам рассеяния нами проведены по балке Шумы, разделяющей Чернобугорский и Чернокурганский участки. Пробы отбирали из илистой и глинистой фракций. Шаг пробоботбора 50 м. В результате выявлен поток рассеяния с содержанием ртути от 1×10^{-4} до 5×10^{-4} % (рис. 15) и выделена перспективная площадь. Затем, на участке Черный Бугор (Большой и Малый Черные Бугры) Никитовского рудного поля нами проведены литохимические поиски по элювио-делювиальным образованиям на площади 5 км^2 в масштабе 1:10000 по сети 100 x 20 м, а на остальных участках - в масштабе 1:25000 по сети 250 x 20 м.

В результате исследований установлена центриклинальная зональность Никитовского рудного поля. Она заключается в том, что в центральной части рудного поля наблюдаются интенсивные вторичные литохимические ореолы ртути, мышьяка, сурьмы, лития, а на северо-западном и юго-восточном флангах только вторичные литохимические ореолы рассеяния ртути и лития. Это свидетельствует о том, что в центральной части рудного поля находятся сурмянортутные руды, а на флангах - ртутные.

В результате литохимических поисков на Черном Бугре зафиксированы глубокозалегающие ртутные руды и локализована перспек-

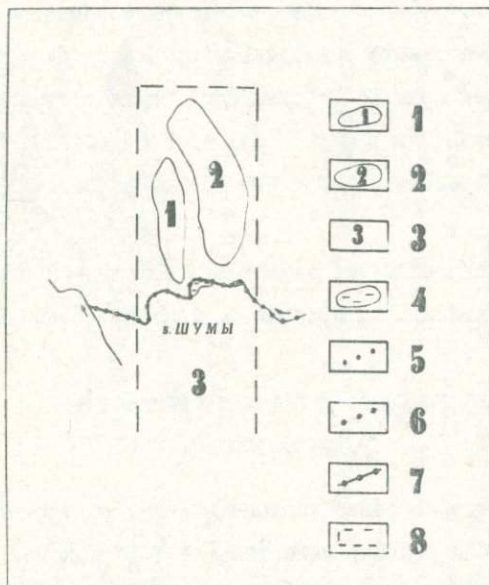


Рис.15 Схема литохимических потоков ртути по балке Шумы Никитовского рудного поля

1 - Малый Черный Бугор; 2 - Большой Черный Бугор;
 3 - Черная Курганка; 4 - искусственные ставки; 5 - места отбора литохимических проб из пролювия-аллювия; 6, 7 - литохимические потоки с содержанием ртути (соответственно): до 1×10^{-4} ‰ и больше 1×10^{-4} ‰; 8 - выделенная перспективная площадь на ртутные руды.

тивная площадь для постановки буровых работ. На этом участке киноварная минерализация контролируется зонами дробления Чернобугорского надвига. Руды представлены в основном, киноварью. В ничтожном количестве встречается антимонит, арсенопирит, барит, галенит, сфалерит. Околорудные изменения представлены диккитизацией. Глубокозалегающий надвиговый тип руд зафиксирован литохимическим методом (рис. 16). Содержание ртути во вторичных литохимических ореолах (в п х 10^{-6} %): от 100 до 2000. В производство геологоразведочных работ ПГО "Донбасгеология" внедрено 3 рекомендации.

В настоящее время Горловской ГРЭ проводятся буровые работы по оценке литохимических ореолов на участке Черный Бугор.

3.1.4 Сподуменовое и петалит-сподуменовое рудопроявление

Геологическое строение редкометального рудопроявления описывается по опубликованным материалам Л.С. Галецкого, А.И. Зарицкого, Г.И. Князева и других (1987 г.). Пегматитовое поле расположено в краевой части докембрийского щита, вблизи сочленения его с палеозойским авлакогеном. Рудное поле приурочено к зоне пересечения субмеридиональных и широтных тектонических нарушений.

Сподуменовые и петалит-сподуменовые пегматиты расположены на удалении 1-2 км от массива гранитов. Восточнее этого массива прослежена зона разломов широтного простирания. Возраст биотитовых и биотит-мусковитовых гранитов, по данным калий-аргонового метода, равен 2000 - 2100 млн. лет. Гранитный массив вытянут в субмеридиональном направлении. Размеры его: ширина - до 1,5 км; длина - 5 км. Граниты интродуцируют архейские биотит-амфиболовые

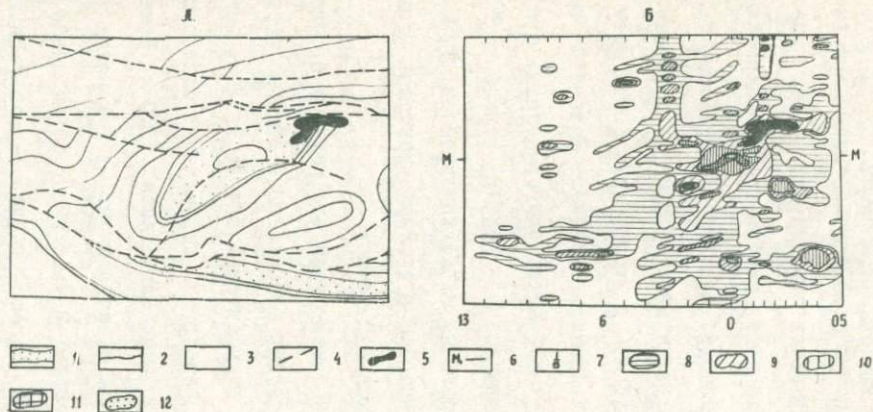


Рис. 16 Схема геологического строения (А) и вторичных литохимических ореолов рассеяния ртути на участке Черный Бугор

1 - песчаники; 2 - маркирующие горизонты; 3 - сланцы; 4 - тектонические нарушения;
 5 - проекция ртутной минерализации; 6 - магистраль; 7 - поисковые профили;
 8 - 12 - содержание ртути в элювио-делювиальных образованиях (в п х 10^{-6} %):
 100 - 200, 200 - 400, 400 - 800, 800 - 1600, 1600 - 2000.

гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, мигматиты и протерозойские микросланцы, кальцифиры. Контактные воздействия гранитов на вмещающие породы выражаются в ороговикании, скарнировании, турмалинизации, альбитизации, микроклинизации, грейзенизации.

В пределах докембрийского поля выделяются несколько минералогическо-парагенетических типов пегматитов: микроклиновые, олигоклаз микроклиновые, пертит-микроклиновые, альбит-пертит-микроклиносподуменовые, петалит-сподуменовые. Падение пегматитовых тел крутое на запад, близкое к вертикальному. Форма их преимущественно плитообразная, линзовидная и в утолщениях (в изгибах кристаллических сланцев) по-видимому, штоковая. Вмещающие пегматиты, кристаллические сланцы повсеместно ороговиканы, окварцованы, хлоритизированы, сульфидизированы (пирит, халькопирит), эпидотизированы, карбонатизированы, турмалинизированы. Турмалинизация наиболее интенсивно проявлена в экзоконтактных зонах пегматитов, мощностью до нескольких метров.

Редкометалльные пегматиты фиксируются эндогенными ореолами лития, висмута, вольфрама и других элементов. Первичные ореолы выходят за пределы отдельных пегматитовых тел на десятки метров.

Докембрийский фундамент перекрыт отложениями платформенного чехла (карбон, кайнозой), мощностью около 100 м. Каменноугольные отложения представлены известняками. На них находятся глины, мергели, пески палеогеновых и неогеновых образований, а затем - пески, глины, суглинки, супеси, почвенно-растительный слой четвертичного периода.

В осадочном чехле развиваются вторичные наложенные ореолы, тяготеющие к химически активным горизонтам-известнякам, мерге-

лям, глинам. Эпицентры таких ореолов приурочены к геохимическим барьерам, контактам глинистых и углистых пород, пестроцветных и красно-бурых глин, где происходит смена окислительно-восстановительных условий. Продуктивность наложенных ореолов зависит от ширины и интенсивности эндогенных ореолов, а мощность осадочного чехла не оказывает заметного влияния. При мощности наносов 100 - 120 м, наложенные ореолы достигают дневной поверхности и фиксируются в почвах. Это доказано нами путем проведения комплексных геохимических исследований на рудопроявлении и его районе. В комплекс исследований вошли следующие методы: литохимический по элювио-делювиальным образованиям, литохимический по пролювио-аллювию, гидрохимический, газортутный, биогеохимический.

На рудопроявлении нами выполнены литохимические (по почвам) и газортутные поиски масштаба 1:10000 (по сети 100 x 20 м) на площади 2,6 км². Затем, этим же комплексом проведены профильные поиски на площади около 30 км². Предполагаемая зона прослеживалась по простиранию на север 15 км. Расстояние между профилями изменялось от 0,5 км до 1,5 - 2,0 км. Пробы отбирались с глубины до 30 см. В южном направлении от рудопроявления выполнены литохимические исследования по потокам рассеяния в комплексе с гидрохимическим и биогеохимическим методами.

В результате исследований зафиксировано редкометальное погребенное рудопроявление и обнаружено 3 новых участка: геохимический-1, геохимический-2 и геохимический - 3.

Участок Геохимический -1 выявлен двумя методами: литохимическим по потокам рассеяния и гидрохимическим. Наиболее интенсивные гидрохимические аномалии. Воды характеризуются гидрокарбонат-

но-хлоридно-сульфатным составом и повышенной общей минерализацией. Схема отбора проб воды по балкам Широкой и № I изображена на рис. 17. Здесь же показан выделенный перспективный участок Геохимический-1. В водах наблюдается аномальное содержание лития и стронция (рис. 18 и 19), а также йода, фтора и других элементов. Литий и стронций определялись в воде и донных отложениях атомно-абсорбционным (пламенной фотометрией) методом.

Перспективные участки Геохимический-2 и Геохимический-3 выделены литохимическим (по почвам) и газортутным методами (рис. 20). На этих участках наблюдаются аномальные содержания лития, ртути, олова, висмута и других элементов в почвах и ртути в почвенном воздухе.

Проведенные исследования показывают высокую эффективность геохимических поисков глубокозалегающего редкометального оруденения в неэллювиальных ландшафтах Украинского кристаллического щита. Поиски рекомендуется проводить в 4 этапа:

1. Гидрохимические и литохимические поиски по потокам рассеяния масштаба 1:50000.
2. Литохимические и газортутные поиски масштаба 1:10000 (по сети 100 x 20 м) на выделенных перспективных площадях по первому этапу.
3. Глубинные заверочные литохимические поиски путем бурения скважин КГК и литохимическое опробование.
4. Бурение поисковых скважин по оценке геохимических ореолов.

Редкометальное оруденение может быть выявлено на третьем или четвертом этапе. Проведение опережающих геохимических поисков с соблюдением этапности будет способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ и увеличению минерально-сырьевой базы.

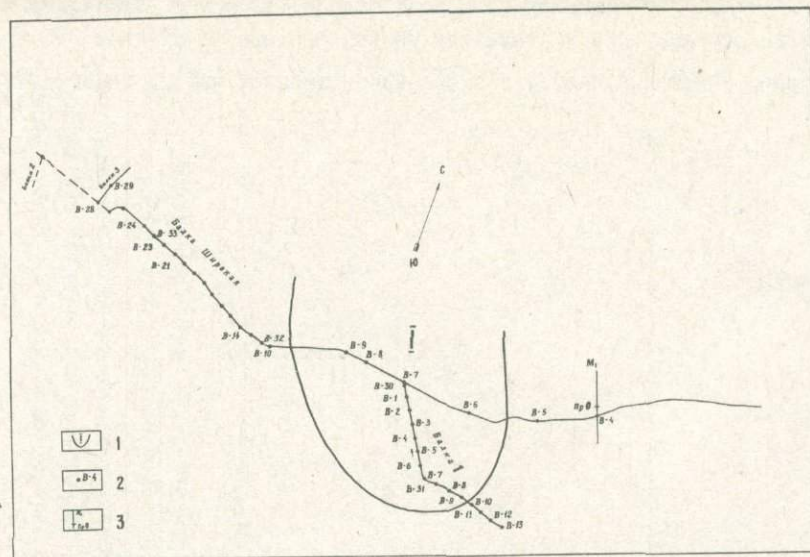


Рис. 17 Схема отбора проб воды по балкам Широкая и № I
I - выделенный перспективный участок Геохимический-I; 2 - места отбора проб воды и их номера; 3 - Магистраль-I и поисковый профиль O.

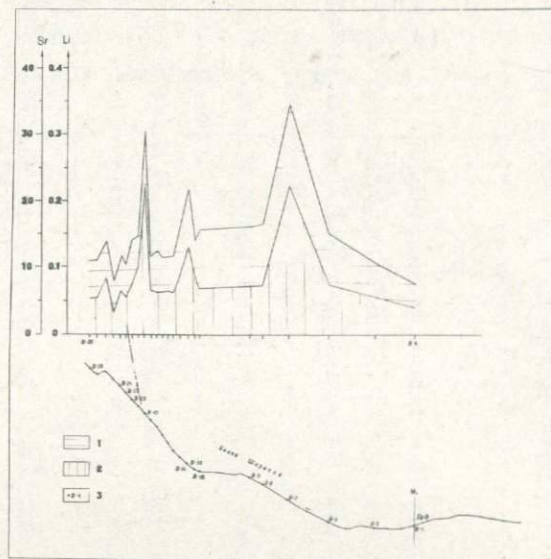


Рис. 18 Аддитивный график распределения свинца и стронция в водах балки Широкая
1 - содержание стронция в воде в условных единицах; 2 - содержание свинца в воде в условных единицах; 3 - места отбора проб и их номера.

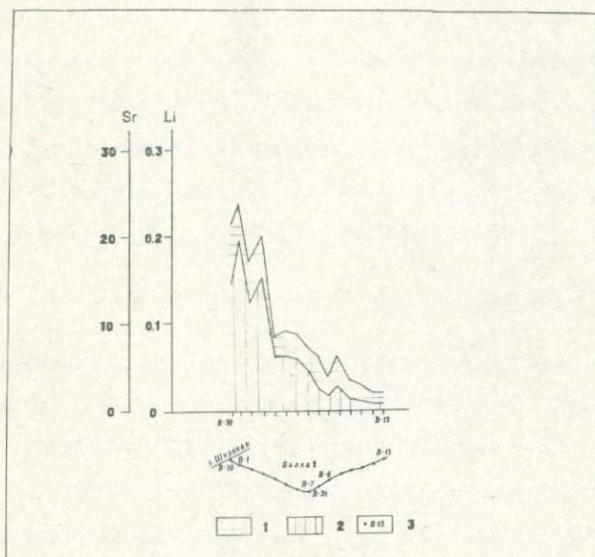


Рис.19 Аддитивный график распределения лития и стронция в водах балки № 1

- 1 - содержание стронция в воде в условных единицах;
 2 - содержание лития в воде в условных единицах;
 3 - места отбора проб воды и их номера.

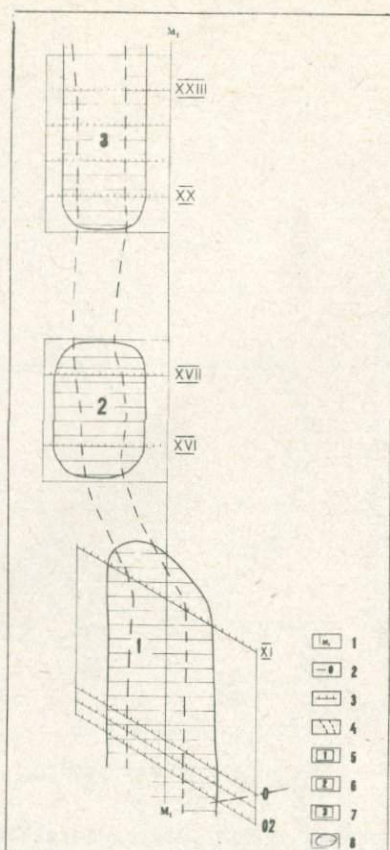


Рис.20 Схема расположения выявленных перспективных участков Геохимический-I и Геохимический-2

I - магистраль; 2 - профили и их номера; 3 - места отбора литохимических проб из элювия-делювия; 4 - сложение зоны; 5 - площадь, в пределах которой находится рудопроявление; 6, 7 - выявленные перспективные участки Геохимический-2 и Геохимический-3; 8 - вторичные литохимические ореолы рассеяния лития; ртути, висмута, олова, вольфрама и других элементов.

3.2 Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Крымской области

Литохимические исследования по потокам рассеяния проведены нами на Альминском, Лозовском и Веселовском рудопроявлениях. Литохимические исследования по элювио-делювиальным образованиям выполнены нами на Альминском, Лозовском, Новолозовском, Южном Мало-Салгирском, Северном Мало-Салгирском, Приветнинском и Веселовском рудопроявлениях. В ландшафтно-геохимических условиях Крыма литохимические методы поисков являются эффективными.

Ниже приведем для примера результаты исследований по Лозовскому и Веселовскому ртутным рудопроявлениям.

3.2.1 Лозовское ртутное рудопроявление

Рудопроявление расположено вблизи Битанского тектонического нарушения. Впервые киноварь была обнаружена Е.И.Трубниковой в 1962 г. В 1965 - 1967 г.г. Крымской ГРЭ было выявлено несколько участков измененных ртутьсодержащих диабазовых порфиритов, пространственно локализованных в глинистых сланцах триаса. Вулкано-генный массив имеет северо-восточное простирание. Он разбит тектоническими нарушениями северо-западного направления. Вдоль этих нарушений наблюдается интенсивное окварцевание, карбонатазация, диккитизация. В отдельных местах встречается киноварь. Последняя установлена в северной и южной частях массива. Киноварь встречается в ассоциации с кварцем, пиритом, кальцитом, марказитом, каолином.

Нами проведены литохимические исследования по потокам рассеяния по ручью. Пробы отбирались с шагом 20 м. Материал обрабо-

вания — глинистый и илестый. Всего отобрано 40 проб. Содержание ртути в потоке варьирует от 100×10^{-7} до $3650 \times 10^{-7} \%$. Длина аномального потока 800 м (рис. 21). Содержание ртути в потоке увеличивается по приближению к оруденению.

Литохимические исследования по элювио-делювиальным образованиям выполнены в площадном варианте в масштабе 1 : 10000 (по сети 100 x 20 м). Отобрано 576 проб. Содержание ртути во вторичных литохимических ореолах рассеяния варьирует от 1×10^{-5} до $23 \times 10^{-5} \%$ (рис. 21).

3.2.2 Веселовское ртутное рудопроявление

Рудопроявление приурочено к антиклинали, сложенной породами таврической серии. Киноварная минерализация наблюдается в кальцитовых жилах северо-западного простирания. Мощность жил варьирует от 1 до нескольких сантиметров, иногда до 30–40 см. Содержание ртути не превышает 0,01%. Околорудные изменения выражены слабо. Наблюдается карбонатизация и каолинизация.

Нами проведены литохимические исследования по потокам рассеяния и по элювио-делювиальным образованиям. В результате исследования установлено, что рудопроявление четко фиксируется литохимическими методами. Выявлен литохимический поток ртути 2,5 км (рис. 22). Содержание ртути в пролювио-аллювиальных отложениях изменяется от 100×10^{-7} до $650 \times 10^{-7} \%$. Во вторичном литохимическом ореоле содержание ртути колеблется от 100×10^{-7} до $650 \times 10^{-7} \%$. Ширина ореола варьирует от 80 м до более 600 м (рис. 22).

Проведенные геохимические исследования свидетельствуют о высокой эффективности литохимических поисков. По геолого-геохимическим данным ртутное оруденение в Крыму датируется как

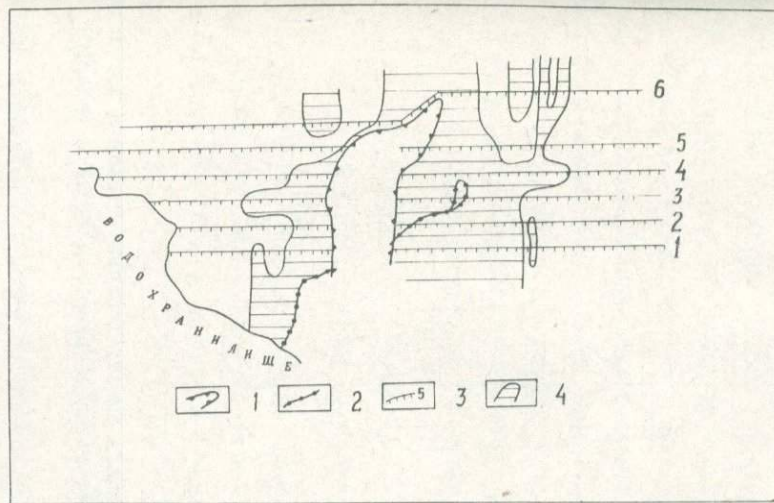


Рис.2I Схема литохимических ореолов и потоков рассеяния ртути на Лозовском рудопроявлении

1 - карьер по добыче диабазовых порфиристов; 2 - литохимический поток с содержанием ртути в пролювио-аллювиальных отложениях от 100×10^{-7} до 3650×10^{-7} %; 3 - места отбора проб из элювио-делювия; 4 - вторичные литохимические ореолы с содержанием ртути в элювио-делювии от 1×10^{-5} до 23×10^{-5} %.

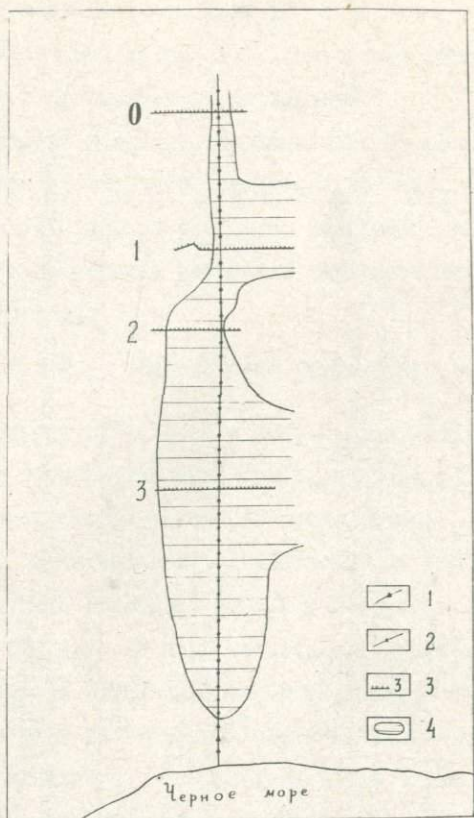


Рис.22 Схема вторичных литохимических потоков и ореолов рассеяния ртути на Веселовском ртутном рудопроявлении

1, 2 - литохимические потоки рассеяния с содержанием ртути $(60-100) \times 10^{-7}$ и $(100-650) \times 10^{-7} \%$ соответственно; 3 - профили отбора литохимических проб по элювио-делювиальным образованиям и их номера; 4 - вторичные литохимические ореолы рассеяния с содержанием ртути от 100×10^{-7} до $650 \times 10^{-7} \%$.

предмеловое. Поэтому, поиски эндогенного оруденения в Крыму должны осуществляться в двух вариантах. На площадях, где развиты меловые, палеогеновые и неогеновые известняки должны проводиться глубинные геохимические поиски (с перебуркой молодых отложений). На площадях, не перекрытых молодыми отложениями (меловыми и т.д.), рекомендуется постановка литохимических поисков по потокам рассеяния в масштабе 1:200000 - 1:50000, а затем - литохимических - по элювио-делювиальным образованиям в масштабе 1:10000 - 1:50000. При этом следует учесть, что эндогенное оруденение контролируется не субширотными, а субмеридиональными зонами разломов (Алуштинско-Симферопольским, Судакско-Зуевским и другими). Поэтому, поисковые профили должны закладываться субширотными.

В результате исследований нами обнаружены Новолозовское и Новое Южное Мало-Салгирское проявления ртути.

3.3 Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Закарпатья

Литохимические исследования по пролювио-аллювиальным отложениям и элювио-делювиальным образованиям проведены нами на рудопоявлениях Боркут и Большой Шаян. Рудопоявления относятся к контактовому типу.

3.3.1 Ртутное рудопоявление Боркут

Оно расположено в приконтактной части Варгедьской субвулканической интрузии кварцевых диорит-порфиритов. Интрузив прорывает осадочные и вулканогенные породы сармата (глины, аргиллиты, алевролиты с маломощными прослоями песчаников, туффитов; два горизонта липарит-дацитовых туфов). Рудопоявление приурочено к востоку северо-восточному контакту Варгедьского интрузива.

По отношению к породам, вмещающим оруденение выделяются руды в туфах, песчаниках и кварцевых диорит-порфиритах (Лазаренко и др., 1968). По отношению к контакту интрузива различают также 3 типа руд: экзоконтактовые, эндоконтактовые и контактовые (Теплов, Леие, 1971 г.). Морфология рудных тел разнообразна: дискообразная, овоидная, плитообразная, крутонаклонная лентообразная. Наблюдаются рудные тела согласные, секущие, контактовые и сложные.

Околорудные изменения вмещающих пород выражены каолинизацией. Приконтактовая зона кварцевых диорит-порфиритов, мощностью 10-20 и более метров, сильно изменены. В меньшей степени каолинизированы липарито-дацитовые туфы, песчаники и другие породы. С каолинитом находятся галлуазит, аллофан и опал.

Главный рудный минерал - киноварь. Встречаются марказит, пирит, галенит, сфалерит. На глубину происходит увеличение сульфидов железа. С приконтактовыми рудами связаны жидкие и твердые битумы. Вокруг рудных тел наблюдаются ореолы ртути, бария, свинца, серебра, молибдена, цинка, меди, хрома, никеля, кобальта и ванадия.

На рудопроявлении нами проведены литохимические исследования по потокам рассеяния и по элювио-делювиальным образованиям. Литохимические пробы из пролювия-аллювия отбирались через 50 м из глинистой или илистой фракций. В результате исследований установлен литохимический поток с содержанием ртути от 1×10^{-4} до более $75 \times 10^{-4} \%$ (рис.23). При этом содержание ртути в потоке увеличивается при приближении к оруденению. Затем проведены литохимические исследования по элювио-делювиальным образованиям методом обортовки склона горы Варгедь и в профильном вари-

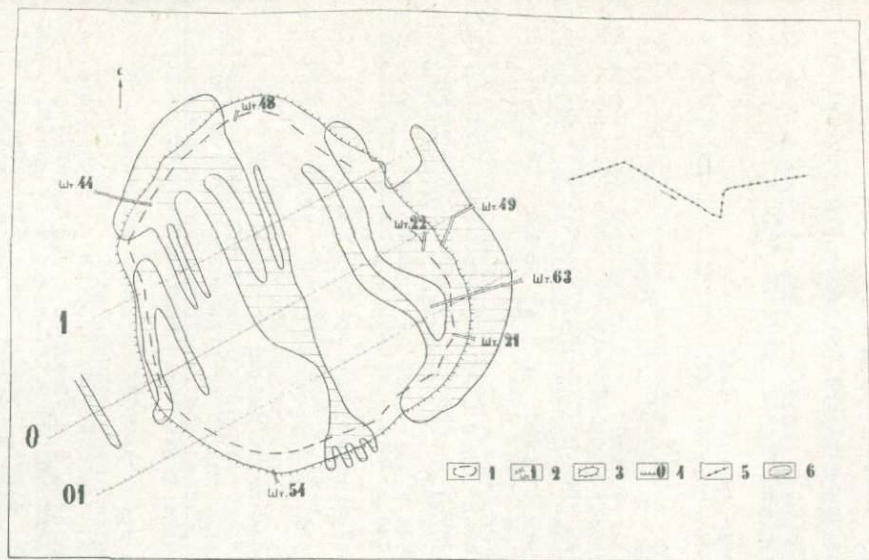


Рис. 23 Схема литохимических потоков и ореолов рассеяния ртути на ртутном рудопроявлении Боркут

I - контакт интрузивного массива; 2 - штольни и их номера; 3 - места отбора литохимических проб из элювия-делювия методом обортовки склонов горы Баргедь; 4 - места отбора литохимических проб из элювия-делювия по профилям и их номера; 5 - литохимический поток с содержанием ртути от 1000×10^{-7} до 75000×10^{-7} %; 6 - вторичные литохимические ореолы рассеяния с содерж.ртути от 1000×10^{-7} до 65000×10^{-7} %.

анте. Шаг пробоотбора 20 м. Глубина пробоотбора - 5-30 см.

Литохимическими методами зафиксированы рудные тела рудопроявления Боркут. Содержание ртути во вторичных литохимических ореолах варьирует от 1×10^{-4} до более $65 \times 10^{-4} \%$ (рис.23).

Проведенные исследования на рудопроявлении Большой Шаян также показали, что литохимические методы являются эффективными при поисках ртутных руд в условиях Закарпатья.

3.4. Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Средней Азии

3.4.1 Хайдарканское рудное поле. Рудное поле относится к кварц-флюорит-киноварному (джаспероидному) типу сурьмяно-ртутной формации. Оно приурочено к Средне-Азиатской рудной провинции и находится в пределах Южно-Ферганского рудного пояса Средней Азии. Этот пояс контролируется зоной Северо-Катранского регионального глубинного разлома субширотного простирания, прослеживающегося на сотни километров вдоль южной окраины Ферганской котловины и подножия Алайского и Туркестанского хребтов (В.И.Смирнов, 1947; В.И.Смирнов и др., 1978; В.П.Федорчук и др., 1979). Рудное поле сложено осадочными толщами от силура до верхнего карбона: известняки, песчаники, сланцы. Структура рудного поля очень сложная. Имеются немногочисленные дайки диабазовых порфиритов и альбититов. Вдоль некоторых крутопадающих разломов и, особенно на контакте между массивными известняками карбона и перекрывающими их глинистыми сланцами залегают пластообразные тела джаспероидов, метасоматически окремненных известняков, которые являются главными рудовмещающими породами. Джаспероидные брекчии образуют залежи в зонах отслоения и дробления в сводовых частях складок, ос-

ложненных разломами и межпластовыми подвижками. Главные минералы руд: киноварь, антимонит, кварц, флюорит, кальцит; второстепенные: пирит, арсенопирит, метациннабарит, реальгар, аурипигмент, гетчелит, ливингстонит, фаматинит, блеклые руды, халькопирит, га лениит, сфалерит, серицит, диккит, барит. Установлено не менее 4 стадий рудообразования: 1) дорудная - джаспероидная; 2) первая рудная - кварц-флюорит-антимонит-киноварная; 3) вторая рудная кальцит-киноварная; 4) третья рудная - реальгар-аурипигментовая (Никифоров, 1969).

На Хайдарканском рудном поле комплексные геохимические исследования проведены нами в октябре 1981 г. В наземном пешеходном варианте выполнены профильные газортутные и литохимические по элювио-делювиальным образованиям исследования (с шагом 20 м) на всех участках (Новом, Главном, Плавиковой горе, Кара-Арче, Перевальном и др.). Выполнены опытно-методические исследования по пролювио-аллювиальным отложениям по ручьям Зархар и Ку-Зархар, а также - газортутные в самолетном и автомобильном вариантах.

В результате исследований установлено:

1. Комплексная методика газортутных и литохимических поисков является эффективной для поисков ртутных и сурьмяно-ртутных руд джаспероидного типа в ландшафтно-геохимических условиях Средней Азии;

2. Прибор ИМР-2 можно использовать при региональных поисках ртутных и сурьмяных руд в самолетном и автомобильном вариантах. При этом осуществляется непрерывная запись результатов исследований с помощью самописца;

3. Сопоставимость приборов ИМР и "Гроза" хорошая.

Аэрогазртутным методом зафиксировано Хайдарканское рудное поле при высоте полета 200 м. Содержание ртути в атмосферном воздухе варьирует от 50 до 450 нг/м³. Аэровоздушным профилированием зафиксировано и полиметаллическое рудопроявление. Содержание ртути в атмосферном воздухе от 75 до 250 нг/м³.

Автогазртутным методом зафиксировано ртутно-сурьмяное рудопроявление и Хайдарканское рудное поле. Содержание ртути в атмосферном воздухе вблизи ртутно-сурьмяного рудопроявления колеблется по прибору ИМР-2 от 75 до 500 нг/м³ и по прибору "Гроза" от 250 до 420 нг/м³, а Хайдарканского рудного поля: от 150 до 1000 нг/м³ и от 200 до 700 нг/м³ соответственно.

Опытно-методические литохимические поиски по потокам рассеяния проведены по ключам Зархар и Ку-Зархар. Шаг пробоотбора через 100 м. Всего отобрано 68 проб. В пробу отбиралась песчано-илистая фракция. Содержание ртути в потоках от $100 \times 10^{-7} \%$ до $800 \times 10^{-7} \%$. Профильные газртутные и литохимические по элювио-делювиальным образованиям исследования выполнены на 6 профилях на участках (в скобках номера профилей): Новый (1, 3); Северная Плавиновая гора (2); Южная Плавиновая гора (4); Сопряжение Плавиновой и Медной горы (5); Кара-Арча (6). Колебание содержаний ртути в почвенном и атмосферном воздухе по профилям 1-5 приведено в таблице 26.

Из таблицы 26 хорошо видно, что газртутные ореолы в почвенном воздухе более интенсивные и контрастные по сравнению с таковыми в атмосферном воздухе. Содержание ртути в истертых до 200 меш пробах варьирует от 140×10^{-7} до $20500 \times 10^{-7} \%$.

Изменение содержаний ртути во вторичных литохимических ореолах по профилям 1-5 приведено в таблице 27.

Таблица 26

Колебание содержания ртути в почвенном и атмосферном воздухе на Хайдарканском рудном поле

Номера профилей	Содержание ртути в п х 10^{-7} мг/л			
	почвенный воздух		атмосферный воздух	
	от	до	от	до
1	1	370	-	-
2	0,2	22	0,4	8
3	0,4	30	0,5	1,5
4	0,4	250	0,3	2,8
5	0,4	200	0,05	53

Таблица 27

Колебание содержания ртути в элювио-делювиальных образованиях Хайдарканского рудного поля

Номера профилей	Содержание ртути в элювио-делювиальных образованиях в п х 10^{-7} %	
	от	до
1	140	15000
2	180	19000
3	120	20500
4	200	10000
5	200	19000

В результате исследований установлено, что геохимические методы являются эффективными при поисках ртутных руд джаспероидного типа. Хайдарканское рудное поле зафиксировано литохимическими методами поисков (рис.24). Рекомендуются проведение опережающих геохимических поисков ртутных и сурьмяно-ртутных руд в условиях Средней Азии по разработанной нами методике.

3.5 Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Красноярского края и Тувинской АССР

Литохимические исследования проведены на Чернореченском ртутном рудопоявлении и Хову-Аксинском кобальто-никелевом рудном поле.

3.5.1. Чернореченское рудопоявление ртути

Рудопоявление ртути обнаружено геологами ПГО "Красноярск-геология". В геологическом строении принимают участие породы верхнего кембрия, протерозоя и четвертичного периода. Кембрийские отложения представлены песчаниками и конгломератами. Среди протерозойских образований В.И.Казаров (1961 г.) выделяет 3 пачки киргизской свиты синийского комплекса (снизу вверх): 1) пачка "а" представлена глинистыми сланцами и доломитизированными известняками; 2) пачка "б" - глинистые, алевроито-глинистые и углисто-глинистые сланцы; 3) пачка "в" - песчаники (кварц-полевошпатовые, глинистые и известковистые). Породы разбиты тектоническими нарушениями субмеридионального простирания. Тектонические нарушения падают на юго-восток под углами 70-90°. Рудные тела приурочены к тектоническим нарушениям и имеют северное и северо-восточное простирание. Вмещающими породами являются доломитизированные извест

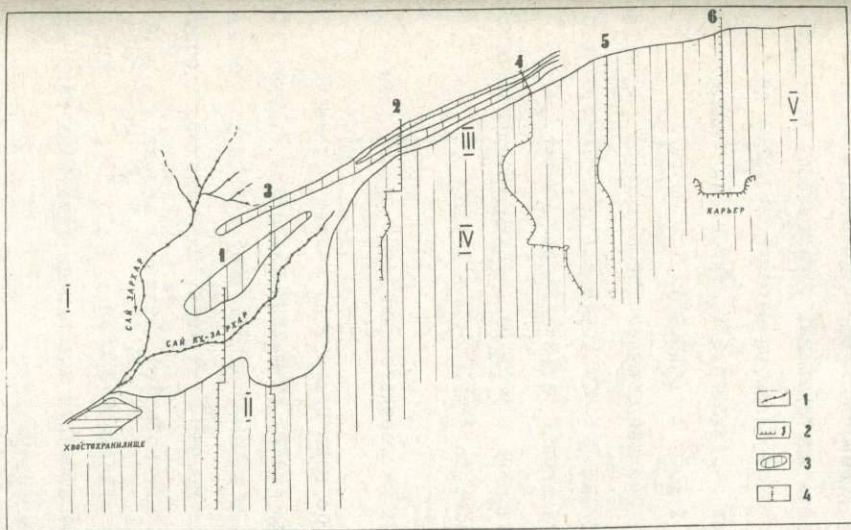


Рис. 24 Схема литохимических потоков и ореолов рассеяния ртути на Хайдарканском рудном поле
 I - литохимические потоки с содержанием ртути в пролювио-аллювии от 100×10^{-7} до 2200×10^{-7} %; 2 - места отбора литохимических проб из элювио-делювия; 3 - вторичные литохимические ореолы с содержанием ртути в элювио-делювии от 1000×10^{-7} до более 20500×10^{-7} %; 4 - участки рудного поля: I - Шорбулак; II - Новый; III - Северная плавиковая гора; IV - Южная плавиковая гора; V - Медная гора.

няки пачки "а". Околорудные изменения вмещающих пород выражены окварцеванием. Рудные тела представлены окварцованными известняками с вкрапленностью киновари. Среднее содержание ртути в них варьирует от 0,001 до 0,03%.

Литохимические пробы по данным отложениям отобраны В.Б.Новиковым по договору о творческом содружестве. Им же представлены геологические материалы. Атомно-абсорбционный анализ на ртуть выполнен в ИМРе. В результате исследований установлено, что рудопроявление может быть зафиксировано по небольшому числу проб. Содержание ртути в пролювио-аллювиальных отложениях изменяется от 140×10^{-7} до 2400×10^{-7} % (рис.25).

Результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности литохимического метода поисков ртутных руд по потокам рассеяния в условиях расчлененного рельефа Красноярского края и Тувинской АССР. Литохимические поиски по потокам рассеяния рекомендуется проводить в масштабе I : 200000 - I : 50000.

3.5.2 Хову-Аксинское кобальто-никелевое рудное поле

Хову-Аксинское рудное поле приурочено к зоне сочленения Убсанур-Баянкольских и Унгешских глубинных разломов. Рудные тела месторождения представлены жилами, характеризующимися резким изменением мощности по простиранию и падению. Руды сложены в основном, арсенидами и арсенатами кобальта, никеля и железа и в меньшей степени сульфидами и сульфарсенидами.

По промышленной классификации выделяются следующие типы руд (в порядке уменьшения встречаемости):

1. Шмальтин-хлоантитовый ($\frac{Co}{Ni} = 0,7 - 2,0$);
2. Сафлоритовый ($\frac{Co}{Ni} > 2,0$);

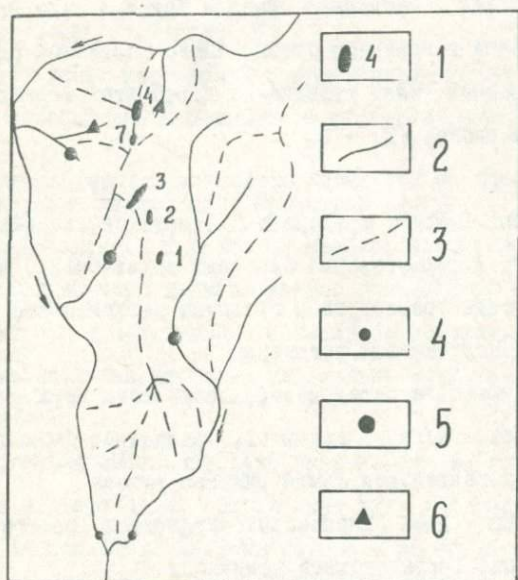


Рис. 25 Схема отбора литохимических проб из пролювио-аллювиальных отложений Чернореченского ртутного рудопроявления

I - рудные тела и их номера; 2 - гидросеть; 3 - водоразделы; 4, 5, 6 - содержание ртути в донных отложениях (в п. х 10^{-7} %); (140 - 200); (240-500) и (1900-2400) соответственно.

3. Никелин-раммельсбергитовый ($\frac{Co}{Ni} < 0,7$);
4. Герсдорфит-теннантитовый ($Si \gg Co+Ni$).

Вмещающими породами арсенидных кобальтовых жил являются гранатовые, полиминеральные скарны, скарнированные и калишпатизированные алевролиты и песчаники. Иногда богатые руды находятся на контакте скарнов и гранитов ситхольского комплекса (D_{I-2}), а также в дайкообразных телах диабазовых порфиритов торгальского интрузивного комплекса ($D_3 - C_I$).

Рудное поле по генезису относится к гидротермальному типу больших глубин. Возраст оруденения датируется как верхний девон-нижний карбон. В формировании его нами выделяется 6 этапов:

1. Внедрение гранофигов и гранитов ситхольского комплекса и образование контактовых роговиков

2. Скарнирование пород центральной части верхнечертакской подсвиты силура, частично гранитов, гранофигов ситхольского комплекса и пород кендейской свиты нижнего девона

3. Внедрение даек (диабазовых порфиритов, габбро-диабазов, гранит-порфиритов) торгальского комплекса

4. Образование секущих скарнов связанных с основной магмой. Эти скарны находятся как среди послонных скарнов и нескарнированных пород силура, так и среди эффузивных и интрузивных пород.

5. Образование кварц-полевошпатовых, пренит-скаполитовых пород при калиевом метасоматозе

6. Проникновение гидротермальных растворов. В этот этап сформировались рудные жилы. Гидротермальный процесс был длительным и сложным. Н.Н.Шишкин и В.А.Михайлова выделяют 6 стадий гидротермального процесса:

- 1) Образование околорудных метасоматических карбонатных

пород (кальцит, доломит)

2) Выполнение жильных трещин ранними карбонатами (кальцит, реже доломит)

3) Выделение ранних арсенидов с преобладанием никеля над кобальтом (никелин, раммельсбергит). Парагенетическая ассоциация кальцит-доломит-никелиновая

4) Формирование основной массы арсенидов ($Co \approx Ni$). Кальцит-шмальтин-хлоантитовая ассоциация с резкоподчиненной раммельсбергитовой

5) Выделение кобальтовых арсенидов ($Co \approx Ni$). Кальцит-сафлоритовая ассоциация с резкоподчиненной шмальтин-хлоантитовой.

6) Сульфидно-карбонатная стадия, при которой образуются карбонатные жилы с сульфидами и поздними арсенидами. Парагенетические ассоциации: кальцит-теннантит-халькопиритовая, кальцит-лёллингитовая.

По степени окисления руды разделяются на окисленные, полукисленные и первичные. Окисленные руды распространяются на 7-10 м от поверхности, полукисленные - до 40-70 м и первичные - глубже 70 м. Частичное окисление руд наблюдается на глубине 320 м. Большой вклад в изучение минералогического состава руд внесли Г.А. Крутов, Л.К. Яхонтова, Р.А. Виноградова, Н.Н. Шишкин, В.А. Михайлова, А.В. Кондратьев и другие. Гипогенные минералы жил: шмальтин-хлоантит, сафлорит, раммельсбергит, скуттерудит, никелин, лёллингит, халькопирит, пирит, галенит, сфалерит, теннантит, герсдорфит, аллоклазит, аргентит и самородные: висмут, серебро, мышьяк. Гипергенные минералы представлены эритрином, аннабергитом, гетерогенитом, ховахситом, смольяниновитом (тувитом), мадахитом, азуритом, беловетом, розелитом, асболоном, псиломеланом,

церруситом, англезитом, конихлоркальцитом. Главным нерудным минералом жил является кальцит и в небольших количествах присутствуют кварц, доломит, хлорит, барит.

Арсенидные руды обладают большими способностями к окислению и электрохимическому растворению. Вокруг рудных тел наблюдаются эндогенные ореолы кобальта, никеля, меди, свинца, цинка, серебра, мышьяка, висмута, ртути, сурьмы.

На Хову-Аксинском рудном поле и в его районе нами проведены комплексные геохимические исследования в период с 1958 по 1976 г.г. В комплекс исследований вошли следующие методы: ландшафтно-геохимический, литохимический (по потокам рассеяния, элювио-делювиальным образованиям, коренным породам), биогеохимический, геоботанический, тератологический (патологический), гидрохимический (по подземным и поверхностным водам, по талым водам, по снегу, по соку березы *Betula verrucosa*). Проведены круглогодичные ежемесячные биогеохимические исследования на Южном и Северном участках и по периодам года - гидрохимические.

Литохимический и гидрохимический методы поисков кобальтовых руд по потокам рассеяния показали высокую их эффективность. При этом, гидрохимические аномалии на Хову-Аксинском рудном поле очень интенсивные и контрастные. Химический состав вод изменяется по мере удаления от руд: (гидрокарбонатно-хлоридно-сульфидный) - (хлоридно-гидрокарбонатный) - гидрокарбонатный. Одновременно изменяется и pH воды от 6,8 - 7,2 до более 8,4. В водах находятся следующие микроэлементы: кобальт, никель, медь, мышьяк, висмут, серебро, сурьма, ртуть, свинец, цинк. В пролювио-аллювиальных отложениях ручья Чиланый обнаружены кобальт, никель, медь, барий, ванадий, иттрий. Литохимический поток длиной более 0,5 км.

Рудные тела кобальтовых рудопроявлений Тувы приурочены к возвышенным формам рельефа, поэтому отбор литохимических проб пологам, пересохшим ручьям и донным отложениям рек и ручьев позволяет по небольшому их количеству быстро оценить перспективы металлогенности больших площадей. Метод нашей практическое применение в Туве.

В 1965 году геологами Тувинской ГРЭ при ревизии литохимических потоков рассеяния в западной Туве обнаружено Кызыл-Оюкское кобальтовое и Верхне-Талайлыкское кобальто-медное рудопроявления.

Литохимический метод поисков по потокам рассеяния рекомендуется проводить в комплексе с гидрохимическим. В высокогорных районах Тувинской АССР, где процессы денудации опережают окислительные, литохимический метод является основным, а гидрохимический - вспомогательным. В ландшафтах, где окислительные процессы сильно развиты, гидрохимический метод является основным, а литохимический (по потокам) - вспомогательным. Кроме того, комплекс этих методов позволяет опосредованно искать большие территории на другие виды минерального сырья в масштабе 1:200000 - 1:50000.

На выделенных перспективных площадях, в зависимости от ландшафтно-геохимических условий, проводятся литохимические (по элювио-делювиальным образованиям) или биотехнологические поиски в масштабе 1:10000 - 1:5000. На Хову-Аксинском рудном поле нами проведены литохимические поиски масштаба 1:5000. Последние осуществлялись по предварительно разбитым профилям по сети 50x10 м. В зависимости от типа почв, растительного покрова и мощности рыхлых образований глубина пробоотбора изменялась: на южных остепенных склонах - 5 - 10 см; на залесенных площадях - 10-20 см. Вес каждой пробы составлял 50 - 60 г. Всего отобрано 14420 проб,

в т.ч 435 проб контрольных (3,1%). Контрольный отбор проб сделан по выборочным профилям, равномерно расположенным на каждом участке. После сушки и просеивания через сито 0,5 мм пробы истирались до 200 меш и направлялись на спектральный анализ. Последний осуществлялся на спектрографе ИСП-28 методом "просыпки" при помощи полуавтоматической приставки УСА-5. Сжигание проб производилось в дуге переменного тока (от генератора ДГ-2), при силе его 20а и экспозиции 30 сек. При этом использовались фотопластинки типа I, чувствительностью 6 - 10 единиц. Расшифровка выполнялась на 4I элемент. Чувствительность спектрального анализа в сопоставлении с кларками по А.П.Виноградову для типоморфных элементов приведена в таблице 28.

Таблица 28

Чувствительность спектрального анализа

Элемент	Чувствительность спектрального анализа в %	Среднее содержание в 2 ч.кислых пород + 1 ч. основных пород, вес %
<i>Co</i>	1×10^{-4}	$1,8 \times 10^{-3}$
<i>Ni</i>	1×10^{-4}	$5,8 \times 10^{-3}$
<i>As</i>	6×10^{-3}	$1,7 \times 10^{-4}$
<i>Bi</i>	1×10^{-3}	9×10^{-7}
<i>Sb</i>	2×10^{-3}	5×10^{-5}
<i>Ag</i>	1×10^{-4}	7×10^{-6}
<i>Cu</i>	1×10^{-4}	$4,7 \times 10^{-3}$
<i>Pb</i>	1×10^{-4}	$1,6 \times 10^{-3}$
<i>Zn</i>	3×10^{-3}	$8,3 \times 10^{-3}$

Для выявления и оценки случайных и систематических ошибок в работе лаборатории производился внутренний (5,9%) и внешний (1,0%) контроль. Вычисленные значения ошибок с помощью ЭВМ в Вычислительном центре ЦГО "Красноярскгеология" не превышают допустимых ($\sigma_{\text{ср}} < 1,6$; $\sigma_{\text{случ.}} < 1,6$; $\sigma_{\text{сист.}} = 0,9 \div 1,10$) и равны: ($\sigma_{\text{ср}}$) - Co - 1,22; Ni - 1,25; As - 1,48; Cu - 1,39; Ag - 1,50; Pb - 1,16; Zn - 1,39; ($\sigma_{\text{случ.}}$) - Co - 1,32; Ni - 1,16; As - 1,47; Cu - 1,12; Ag - 1,38; Pb - 1,21; Zn - 1,19; ($\sigma_{\text{сист.}}$) - Co - 1,06; Ni - 0,91; As - 1,05; Cu - 1,06; Ag - 0,95; Pb - 1,05; Zn - 1,10.

Оценка литохимических ореолов рассеяния является основной проблемой методики геохимических поисков. При оценке ореолов требуется решить две самостоятельные задачи:

а) оценка литохимических аномалий при поисках масштаба

1 : 200000 - 1 : 50000 ;

б) оценка вторичных литохимических ореолов рассеяния и выявленных рудопроявлений при поисках масштаба 1 : 10000 и 1 : 5000 .

Решение первой задачи подробно описано в работе А.П.Соловьева "Оценка гипергенных литохимических аномалий при поисках масштаба 1 : 50000 " (1972 г.). Поэтому здесь излагаются основные аспекты по оценке аномалии. При поисковых съемках масштаба 1 : 200000 - 1 : 50000 в задачу оценки аномалий по А.П.Соловьеву входит путем ее осмотра на местности и детализационного пробоотбора решение вопроса: заслуживает ли аномалия дальнейших детальных геологических, геохимических и геофизических исследований и, если заслуживает, то каковы виды, объемы и очередность работ. В процессе работы проводятся детализационные повторно-контроль-

ное, штуфное и шлиховое опробование и составляются геологические и ландшафтно-геохимические схемы масштаба 1:10000 (1:25000). В зависимости от местных ландшафтно-геохимических и геологических условий даже крупному месторождению может соответствовать самая незначительная геохимическая аномалия. Поэтому последовательной и тщательной оценке подлежат все выявленные литохимические аномалии. На этом этапе поисков первоочередное внимание должны привлекать наиболее контрастные и протяженные литохимические аномалии рассеяния, расположенные в благоприятной структурно-геологической обстановке. При этом следует учитывать следующие 4 группы литохимических аномалий по перспективности на кобальтовые руды:

1. В остепненных ландшафтах склонов южной экспозиции с маломощным (0,5 - 1,5 м) покровом щебенистых элювио-делювиальных образований наиболее перспективны на обнаружение вскрытого эрозией кобальтового оруденения литохимические аномалии, характеризующиеся совместными повышенными содержаниями Co , Ni , As , Bi , Sb , Ag , Cu , Pb , Zn , с линейной продуктивностью (М) по Co 1,0 м % и величиной показателя $V = \frac{M_{Co}}{M_{Ni}} \geq 0,2$.

2. В тех же ландшафтах литохимические аномалии предположительно связанные со слепыми кобальт-арсенидными рудными телами заслуживают внимания независимо от величины линейной продуктивности; такие аномалии могут характеризоваться сокращенным перечнем рудных элементов - Co , Ni , Cu .

3. В тех же ландшафтах литохимические аномалии с величиной $V = \frac{M_{Co}}{M_{Ni}} \leq 0,2$ фиксируют сульфоарсенидные кобальто-медные рудопроявления, не представляющие практического интереса на кобальт.

4. В лесных ландшафтах склонов северной экспозиции с покровом

рыхлых образований 2,0 - 5,0 м перспективными на кобальтовые арсенидные руды могут быть аномалии с неполным перечнем рудных элементов (Co, Ni, As, Ag, Cu) с линейной продуктивностью по $Co \geq 0,3$ м % и показателем $V = \frac{M_{Co}}{M_{Ni}} \geq 0,1$.

Для каждого из перечисленных типов аномалий существуют промежуточные условия.

Оценка вторичных литохимических ореолов рассеяния и выявленных рудопроявлений при поисках масштаба I : 10000 и I : 5000 выполняется с применением количественной интерпретации для установления целесообразности дальнейшего проведения горно-буровых работ.

Основными параметрами количественной интерпретации вторичных литохимических ореолов рассеяния являются: эффективные размеры (ширина - $2a$, длина $2L$, площадь - S), интенсивность (содержание - \bar{C}); контрастность (γ), коэффициент гипергенного рассеяния (β), линейная (M) и площадная (P) продуктивности, количество металла на I м углубки (q), сползание центра ореола вниз по склону (S_0), запасы руды и металла в ореоле (Q_p, Q_m), коэффициент пропорциональности между количеством металла в ореоле рассеяния и коренном оруденении (K), прогнозные геологические ресурсы металла, подсчитанные по геохимическим данным (Q_n). Параметры литохимических ореолов рассеяния определяются в контуре $S_A = S_p \times \epsilon^3$. Минимально-аномальное содержание типоморфных элементов в ореолах рассеяния в % следующее (в скобках - фоновое содержание): $Co - 0,007 (0,001)$; $Ni, Cu - 0,008 (0,001)$; $As - 0,006 (н/о)$; $Ag - 0,001 (н/о)$; $Sb, Bi - 0,001 (н/о)$; $Pb - 0,006 (0,0006)$; $Zn - 0,01 (0,004)$. Эффективные размеры

литохимических ореолов колеблются от 10 x 50 м до 400 x 1600 м. По увеличению размеров ореолов рудные элементы можно расположить в следующий ряд: $(Bi, Sb), Ag, Ni, As, Pb, Co, Cu, Zn$.

Среднее содержание типоморфных элементов в ореолах в % равно (в скобках - максимальное содержание - C_{max}): $Co - 0,012 (0,2)$; $Ni - 0,013 (0,7)$; $As - 0,014 (0,3)$; $Ag - 0,0016 (0,1)$; $Bi, Sb - 0,004 (0,01)$; $Cu - 0,026 (1,0)$; $Pb - 0,012 (0,3)$; $Zn - 0,022 (0,5)$. По увеличению среднего содержания в ореолах рудные элементы группируются в ряд: $Ag, (Bi, Sb), (Co, Pb), Ni, As, Zn, Cu$.

Вторичные ореолы рассеяния, выявленные на рудном поле являются контрастными ($\gamma = 2,4 - 11,7$). Смещение центра литохимических ореолов вниз по склону незначительно и не превышает 5,0 м.

Коэффициент гипергенного рассеяния имеет большое значение для изучения процессов формирования вторичных ореолов рассеяния собственно кобальтовых арсенидных руд, а также для установления рядов гипергенной подвижности рудных элементов, оценки ожидаемой ширины ореолов при заданных параметрах рудного тела для расчета поисковых сетей. В пределах одного участка миграционная подвижность различных элементов заметно изменяется. В то же время один и тот же элемент ведет себя по разному на разных участках рудного поля месторождения (таблица 29). По увеличению $\bar{\sigma}$ рудные элементы располагаются следующим образом: $Ni < Ag < Pb < As < Cu < Co < Zn$. Различия $\bar{\sigma}$ на разных участках позволяют прийти к выводу, что:

для Co, Ag, Pb - $\sigma_{ю} > \sigma_{ср} > \sigma_{пр} > \sigma_{св}$
 для Ni, As - $\sigma_{ю} > \sigma_{ср} > \sigma_{св} > \sigma_{пр}$
 для Cu, Zn - $\sigma_{пр} > \sigma_{ю} > \sigma_{ср} > \sigma_{св}$

Однако статистически значимые различия (на 5% доверительном уровне) обнаруживаются, главным образом, между крайними значениями σ в этих последовательностях. Наблюдаемые различия σ объясняются ландшафтно-геохимическими условиями участков. Южный участок характеризуется степным ландшафтом с каштановыми почвами, а Северный - лесным ландшафтом с серыми горно-таежными почвами. При наличии древних горных выработок коэффициент гипергенного рассеяния возрастает на 20-30% против своих значений на ненарушенных участках.

Линейная (M) продуктивность и количество металла на I м углубки литохимических ореолов рудного поля, в условных величинах приведены в таблице 30.

По отношению линейной продуктивности кобальта к никелю и меди можно судить о типе руды, находящейся под элювио-делювиальными образованиями: а) шмальтин-хлоритовый и сафлоритовый арсенидные типы:

$$\frac{M_{Co}}{M_{Ni}} = 0,90 \div 5,30 \text{ и } \frac{M_{Co}}{M_{Cu}} = 0,26 \div 0,85;$$

б) никелиновый арсенидный тип: $\frac{M_{Co}}{M_{Ni}} = 0,16 \div 0,80$ и

в) сульфидарсенидный кобальто-медный тип: $\frac{M_{Co}}{M_{Cu}} = 0,19 \div 2,30$;

$\frac{M_{Co}}{M_{Cu}} = 0,003$ и $\frac{M_{Co}}{M_{Ni}} = 1,25$. В гипергенных литохимических ореолах рассеяния наблюдается зональность близкая к зональности установленной для коренного оруденения, т.е. от Южного участка к Северному, в них увеличиваются относительные содержания Ni , As , Bi , Sb , Zn и уменьшаются Co , Cu , Pb .

В отличие от зональности руд относительное содержание Ag в ореолах уменьшается к северу. Геохимический показатель зональности

$$V = \frac{M_{Ni} \cdot M_{As} \cdot M_{Sb} \cdot M_{Zn}}{M_{Co} \cdot M_{Ag}^2 \cdot M_{Cu} \cdot M_{Pb}} \text{ — с юга на север возрастает в } 521,3 \text{ раза.}$$

Таблица 29

Коэффициенты гипергенного рассеяния типоморфных элементов

Эле- менты	Среднее значение коэффициента гипергенного рассеяния									
	в м									
	у ч а с т к и р у д н о г о п о л я :									
	Южный		Промежуточный		Средний		Северный		Рудное поле	
	<i>n</i>	$\sigma \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	<i>n</i>	$\sigma \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	<i>n</i>	$\sigma \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	<i>n</i>	$\sigma \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	<i>n</i>	$\sigma \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$
<i>Co</i>	26	24,00 ± 2,37	18	16,04 ± 2,62	30	18,30 ± 2,57	28	1260 [±] 1,00	102	17,79 ± 1,14
<i>Ni</i>	23	12,50 ± 1,49	17	7,74 ± 0,69	24	10,60 ± 1,30	32	9,51 ± 0,93	96	10,30 ± 0,59
<i>As</i>	26	20,38 ± 2,21	19	14,83 ± 2,36	32	17,61 ± 2,00	34	14,95 ± 1,44	111	1697 ± 1,45
<i>Ag</i>	25	18,91 ± 3,94	10	10,36 ± 1,08	20	15,10 ± 2,05	20	9,83 ± 1,07	75	14,33 ± 1,86
<i>Cu</i>	25	17,31 ± 2,26	23	21,71 ± 2,45	32	16,07 ± 2,00	33	12,55 ± 1,10	113	17,35 ± 0,89
<i>Pb</i>	26	20,43 ± 2,00	24	11,70 ± 1,34	21	15,26 ± 2,13	18	10,54 ± 2,14	89	14,85 ± 0,89
<i>Zn</i>	26	18,29 ± 2,03	24	23,75 ± 3,02	31	17,66 ± 1,59	32	1561 ± 2,28	113	18,83 ± 1,06

Геохимические параметры ореолов рассеяния

Элементы	Линейная продуктивность (M) в м %		Количество металла на 1 м углубки (\bar{q}), т/м
	n	\bar{M}	
Co	102	1,45	185,0
Ni	96	1,02	122,0
As	108	1,04	140,0
Ag	75	0,10	9,4
Bi	17	0,12	2,6
Sb	17	0,12	2,6
Cu	113	4,12	582,0
Pb	86	0,95	103,0
Zn	115	3,52	506,0

Для кобальта и никеля коэффициенты пропорциональности между количеством металла в ореоле рассеяния и в коренном оруденении (k) близки к 1,0 и с 5% доверительной вероятностью находятся в пределах для кобальта от 0,8 до 2,7 и для никеля от 0,58 до 1,8.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в элювио-делювиальных образованиях рудные элементы склонны к некоторой аккумуляции. При наличии древних горных выработок происходит техногенное обогащение почвенного профиля рудными элементами. В этих условиях параметр k , по ориентировочным данным возрастает на 15 - 30%. А по увеличению k участки можно расположить в следующий ряд: Северный, Средний, Промежуточный, Южный. Увеличение

значений K объясняется изменением ландшафтно-геохимических условий, т.е с севера на юг лесные ландшафты постепенно сменяются степными.

Приближенный подсчет ресурсов кобальта по геохимическим данным имеет большое практическое значение. Прогнозная их оценка уже на стадии поисковых работ служит объективным показателем перспективности изучаемых рудопроявлений. По увеличению прогнозных запасов кобальта и никеля участки рудного поля можно расположить в следующий ряд: Промежуточный, Средний, Южный, Северный. Этот ряд хорошо согласуется с подсчитанными запасами по участкам по данным геологоразведочных работ. Общие запасы кобальтовых руд по участкам (по данным геологоразведочных работ) распределяются следующим образом: Южный - 28,8%, Промежуточный - 2,3%, Средний - 3,8% и Северный - 65,7%.

Следовательно, геохимические подсчеты ресурсов достаточны для отнесения кобальтового рудопроявления по его вторичному ореолу рассеяния в число мелких, средних или крупных месторождений или рудопроявлений. Кроме того, с их помощью можно определить целесообразность и очередность оценки литохимических ореолов и последовательность проведения геологоразведочных работ. Точность подсчета прогнозных ресурсов металла по вторичным литохимическим ореолам рассеяния считается хорошей, если ошибка не превышает 3-кратного значения относительно данных разведки.

Литохимическая съемка - это один из эффективных методов поисков собственно кобальтовых арсенидных руд. В результате проведения литохимических поисков зафиксированы все рудные участки, выявлены рудные тела и рудоносные зоны. Литохимическими ореолами рассеяния зафиксированы выходящие на поверхность с промышленным

содержанием кобальта рудные тела и скрытые (выходящие на поверхность с непромышленным содержанием кобальта) на глубине. Литохимической съемкой масштаба 1: 5000 обнаружены на участках:

- а) Северном - жилы 233; южное продолжение жил I29, I3I; Чилангтская, Северо-восточная рудоносные зоны;
- б) Среднем - жилы 220, 224, 240 и несколько рудоносных зон;
- в) Южном - южная (Гранитная) рудоносная зона;
- г) Западном - жилы 302, 303.

Рудные тела 220 и 233 зафиксированы литохимическими ореолами рассеяния. При вскрытии ореолов канавами установлено, что рудные тела представлены зонами дробления и метасоматическими карбонатными породами с налетами малахита и азурита. При литохимическом (пунктирной бороздой) опробовании коренных пород оказалось, что в рудных зонах содержится комплекс элементов, характерный для кобальтовых руд ховаксинского типа: $Co - 0,005\%$; $Mn - 0,01 - 0,02\%$; $As - 0,03\%$; $Cu - 0,3 \div > 1,0\%$; $Bi, Sb - 0,002\%$; $Ag - 0,001 \div 0,005\%$; $Hg - 0,0005\%$. По элементам залегания зон и сопровождающих кальцитовых прожилков сделано заключение о том, что рудные тела приурочены к трещинам второго порядка, имеющим субмеридиональное простирание и падение на восток под углом $30-60^\circ$. По падению рудоносные зоны погружаются в скарновую пачку. Последняя является благоприятной средой для локализации промышленного кобальтового оруденения.

Все эти данные позволили заложить поисковые скважины, которые вскрыли промышленные кобальтовые руды. Рудные тела 220 и 233 разведаны и по ним подсчитаны запасы кобальта по категориям C_1 и C_2 . После количественной интерпретации литохимических ореолов и вскрытия их канавами в 1973 г. обнаружено новое рудное

тело 240 на Среднем участке. Жила 240 представлена эритрином, хохситом, смольяниновитом с реликтами шмальтин-хлоантита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Литохимический метод поисков по потокам рассеяния нашел широкое практическое применение в условиях расчлененного рельефа. Большой вклад в развитие и совершенствование этого метода внесли А.П.Соловов, Е.М.Квятковский, В.В.Поликарпочкин и другие. Нами доказано, что литохимический метод поисков по пролювио-аллювиальным отложениям является эффективным и в степных ландшафтах со слабо расчлененным рельефом дневной поверхности.

Проведенные нами исследования в различных регионах страны (Украинская ССР, Киргизская ССР и РСФСР) показали высокую эффективность метода.

Метод поисков является опережающим. Он позволяет опосредованно исследовать большие территории по небольшому количеству проб в масштабе 1:200000 - 1:50000. На новых перспективных площадях рекомендуется его комплексировать с гидрохимическим методом.

Литохимический метод по потокам рассеяния имеет большое значение не только при поисках месторождений полезных ископаемых, но и при изучении геохимии окружающей среды. В частности, на Украинском Кристаллическом Щите этим методом могут быть обнаружены месторождения, находящиеся как в фундаменте, так и в перекрывающей осадочной толще.

Проведение опережающих геохимических поисков на современном научном уровне с соблюдением методики и этапности работ несомненно будет способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ и увеличению минерально-сырьевой базы Украинской ССР.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. - М.: Наука, 1981, 320 с.

Геология ртутных месторождений и рудопроявлений Украины. Отв. ред. В.И.Скаржинский. - Киев: Наукова Думка, 1975, 285 с.

Григорян С.В., Соловов А.П., Кузин М.Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. - М.: Недра, 1983, 192 с.

Захаров Е.П. Опыт поисков кобальтовых месторождений по потокам рассеяния в условиях Тувы. - Бюллетень научно-технической информации Госгеолкома СССР, М.: Госгеолтехиздат, 1964, № 2 (52), с.6 - 8.

Захаров Е.П. Рациональный комплекс геохимических методов поисков собственно кобальтовых руд. Материалы по геологии Тувинской АССР, выпуск I, Кызыл, Тувинское книжное изд-во, 1969, с.92 - 104.

Захаров Е.П. Поиски глубокозалегающих ртутных руд по вторичным ореолам рассеяния. - Разведка и охрана недр, 1979, № II, с.19-23.

Захаров Е.П., Кирикилица С.И. Методические рекомендации по количественной прогнозной оценке месторождений и рудопроявлений по их первичным и вторичным литохимическим ореолам. Симферополь, ИМП, 1979, 124 с.

Захаров Е.П. Методика поисков глубокозалегающих ртутных месторождений по литохимическим потокам рассеяния в условиях Донбасса. - Геохимия и рудообразование, 1983, № II, с.51-55.

Захаров Е.П. Методические рекомендации по статистической и математической обработке геохимических данных. Симферополь, ИМП, 1986, 172 с.

Захаров Е.П. Геолого-геохимическая модель формирования эндогенных ореолов и внутрислоевых руд ртутных месторождений Донбасса. - Геологический журнал, 1986, т.46, № I, с.55 - 61.

Инин В.Д. Потенциальные возможности донно-прибортового опробования овражно-балочной сети в условиях Правобережного (Среднего) Приднепровья. - Геохимия и рудообразование, 1983, вып. II, с.32-35.

Крутов Г.А. Месторождения кобальта. - М.: Госгеолтехиздат, 1959, 232 с.

Квятковский Е.М. Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. - Л.: Недра, 1974, 275 с.

Мицкевич Б.Ф. Геохімічні методи розшуків та умови їх застосування на Україні і в Молдавії. - Киев: Наукова думка, 1965, 128 с.

Мицкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. - К.: Наукова думка, 1971, 175 с.

Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. - Киев.: Наукова думка, 1981, 174 с.

Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я. Методические разработки по ландшафтно-геохимическому районированию территории Украины как основы поисков рудных месторождений по экзогенным ореолам и потокам рассеяния. Киев: Наукова думка, 1981, 127 с.

Мицкевич Б.Ф. Ландшафтно-геохимическое районирование территории Украины по условиям ведения геохимических поисков месторождений полезных ископаемых. - Геохимия и рудообразование, 1983, вып. II, с.25-28.

Мицкевич Б.Ф. К использованию геохимических съемок по потокам рассеяния на Украинском Щите. - Геологический журнал, 1983, № 1.

Мицкевич Б.Ф., Почтаренко В.И., Инин В.Д., Исаева Е.М. Временные методические рекомендации по проведению литохимических поисков по потокам рассеяния (применительно к условиям Украинского Щита). - Киев, Мингео УССР, 1983, 52 с.

Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986, 232 с.

Поликарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск, наука, 1976, 517 с.

Поликарпочкин В.В. Геохимическая съемка и поиски по потокам рассеяния на территории Украинской ССР. - Геохимия и рудообразование, 1983, вып. II, с.13-25.

Смирнов В.И. Геология ртутных месторождений Средней Азии. М.: Госгеолтехиздат, 1947, 80 с.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. - М.: Госгеолтехиздат, 1976, 688 с.

Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. Курс рудных месторождений. - М.: Недра, 1981, 350 с.

Соловов А.П., Матвеев А.А., Ряховский В.М. Геохимические методы поисков рудных месторождений. - М.: МГУ, 1978, 184 с.

Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1985, 294 с.

Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. - М.: МГУ, 1985, 228 с.

Федорчук В.П. Методика поисков и разведки скрытого ртутно-сурьмяного оруденения, М.: Недра, 1964, 286 с.

Федорчук В.П. Геология ртути. М.: Недра, 1983, 270 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
I. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	5
I.1. Особенности механической миграции химических элементов	5
I.2. Закономерности физико-химической миграции эле- ментов	17
I.3. Общие особенности миграции газов	27
I.4. Общие закономерности водной миграции химических элементов	30
I.5. Общие особенности биогенной миграции химических элементов	33
2. МЕТОДИКА ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНСКОЙ ССР	38
2.1. Комплексование литохимических поисков по пото- кам рассеяния с гидрогеохимическим, шлиховым и шлихо-геохимическим методами	38
2.2. Отбор, обработка и хранение литохимических проб.	41
2.3. Лабораторные исследования	86
2.3.1. Атомно-абсорбционное определение ртути в литохимических пробах	86
2.3.2. Атомно-абсорбционное определение ртути в воде.	92

	Стр.
2.3.3. Атомно-абсорбционное определение ртути в растениях	100
2.3.4. Спектральный анализ	100
2.4. Определение ртути в почвенном и атмос- ферном воздухе	101
2.5. Методика подсчета прогнозных ресурсов по литохимическим потокам рассеяния ..	101
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РТУТНЫХ И ДРУГИХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ	104
3.1. Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Донецкой области	104
3.1.1. Славянское ртутное рудное поле	104
3.1.2. Дружковско-Константиновское ртутное рудное поле	110
3.1.3. Никитовское ртутное рудное поле	122
3.1.4. Сподуменовое и петалит-сподуменовое рудопроявление	126
3.2. Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Крымской области.	135
3.2.1. Лозовское ртутное рудопроявление	135
3.2.2. Веселовское ртутное рудопроявление ...	136
3.3. Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Закарпатья	139
3.3.1. Ртутное рудопроявление Боркут	139

	Стр.	
3.4	Литохимические исследования по потокам рассеяния в условиях Средней Азии	142
3.4.1	Хайдарканское ртутное рудное поле	142
3.5.	Литохимические исследования по потокам рас- сеяния в условиях Красноярского края и Тувин- ской АССР	146
3.5.1	Чернореченское ртутное рудопроявление ..	146
3.5.2	Хову-Аксинское кобальто-никелевое рудное поле	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		164
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА		165

Литохимические поиски
ртутных месторождений по потокам рассеяния в условиях
Украинской ССР (Методические рекомендации)
Составитель - кандидат геолого-минералогических наук
ЗАХАРОВ Евгений Порфирьевич

Подписано к печати 21.12.87г. БЯ-04733 Формат 60x90 1/16
Печ.л. 10,75 Уч.-изд.л. 10,75 Тираж 600 экз. Заказ 703 Цена 60 коп.

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕТЕМ

60 коп.

5130