



Министерство образования и науки РФ

Национальный исследовательский

Томский политехнический университет

Институт природных ресурсов

**Атмогеохимические методы при
поисках месторождений
радиоактивного сырья**

Атмохимические методы поисков МПИ

Атмохимические (газовые) поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании состава подземной атмосферы — химического состава газов, насыщающих горные породы вблизи дневной поверхности.

- Если газовый пробоотбор ведется с малой глубины до 3м, принято говорить об **исследовании подпочвенного воздуха**.
- Современные газовые съемки выполняются с глубиной пробоотбора **20—600 м**.
- Реже исследуется газовый состав приземной атмосферы, хотя именно в этом варианте существенно возрастает оперативность атмохимической съемки.

- Земную атмосферу в основном слагают три газа — азот (около 78%), кислород (около 21%) и аргон (около 1 %), в сумме составляющие 99,94 % ее массы.
- В переменных количествах в атмосфере присутствуют пары воды; содержание оксида углерода — около 0,03%, содержание остальных газов 10⁻⁴—10⁻⁶ % и менее.
- **Низкий геохимический фон и высокая подвижность химических элементов в газовой фазе создают исключительно благоприятные условия для формирования атмохимических ореолов рассеяния любых месторождений полезных ископаемых.**

Атмохимические методы поисков МПИ

- Возникновение атмохимического метода поисков, под первоначальным названием «газовая съемка», относится к началу 30-х годов и связано с именем В. А. Соколова .
- Природная нефтяная залежь представляет собой смесь жидких и газообразных углеводородов (УВ), метанового, нафтенового и ароматического рядов с примесью сернистых, азотистых, кислородных соединений и зольных остатков. В зависимости от условий залегания она может представлять собой либо однофазовую газонасыщенную жидкость, либо распадаться на жидкую и газовую фазы, образуя в верхних горизонтах залежи так называемую «газовую шапку».
- В составе нефтяного газа преобладают метан (CH_4) и его тяжелые гомологи — этан, пропан, бутан .В качестве примесей содержатся переменные количества азота, углекислоты, гелия и других газов, содержания метана обычно превышают сумму со- содержания тяжелых углеводородов (ТУВ).
- Содержание углеводородов в нефтяных газах достигает 80—95 %/о, в то время как их геохимический фон в почвенном воздухе не превышает фоновый уровень. Эта огромная разность концентраций определяет протекание процессов рассеяния углеводородов в окружающих горных породах.

Атмохимические методы поисков МПИ

- К тому же периоду относится возникновение метода **эманационной съемки**, при которой в поисковых целях в почвенном воздухе определяются содержания **радона и торона**.
- В предвоенные годы газовые съемки с переменным успехом велись во многих нефтеносных районах и в небольших объемах на угольных месторождениях.
- **Эманационная съемка вошла в состав радиометрических методов поисков радиоактивных руд**, составляющих самостоятельную, хорошо разработанную область прикладной геохимии. Позднее определились новые области применения атмохимического метода поисков.
- Под влиянием идей А. А. Саукова в 1956 г. Е. А. Сергеевым начата разработка **газортутного метода** [14] поисков рудных месторождений. В создании этого метода большую роль сыграли работы В. З. Фурсова [46], И. И. Степанова и ряда зарубежных авторов.
- Тогда же были начаты исследования по применению атмохимического метода к поискам рудных месторождений по косвенным газам-индикаторам (CO_2, O_2). Успешное развитие получил метод **гелиевой съемки** (И. Н. Яницкий и др.).
- К настоящему времени атмохимический метод поисков месторождений твердых полезных ископаемых прошел первую стадию опытных работ, и указания по производству поисковых атмохимических съемок в закрытых рудных районах вошли в действующую Инструкцию.
-

Атмохимические методы поисков МПИ

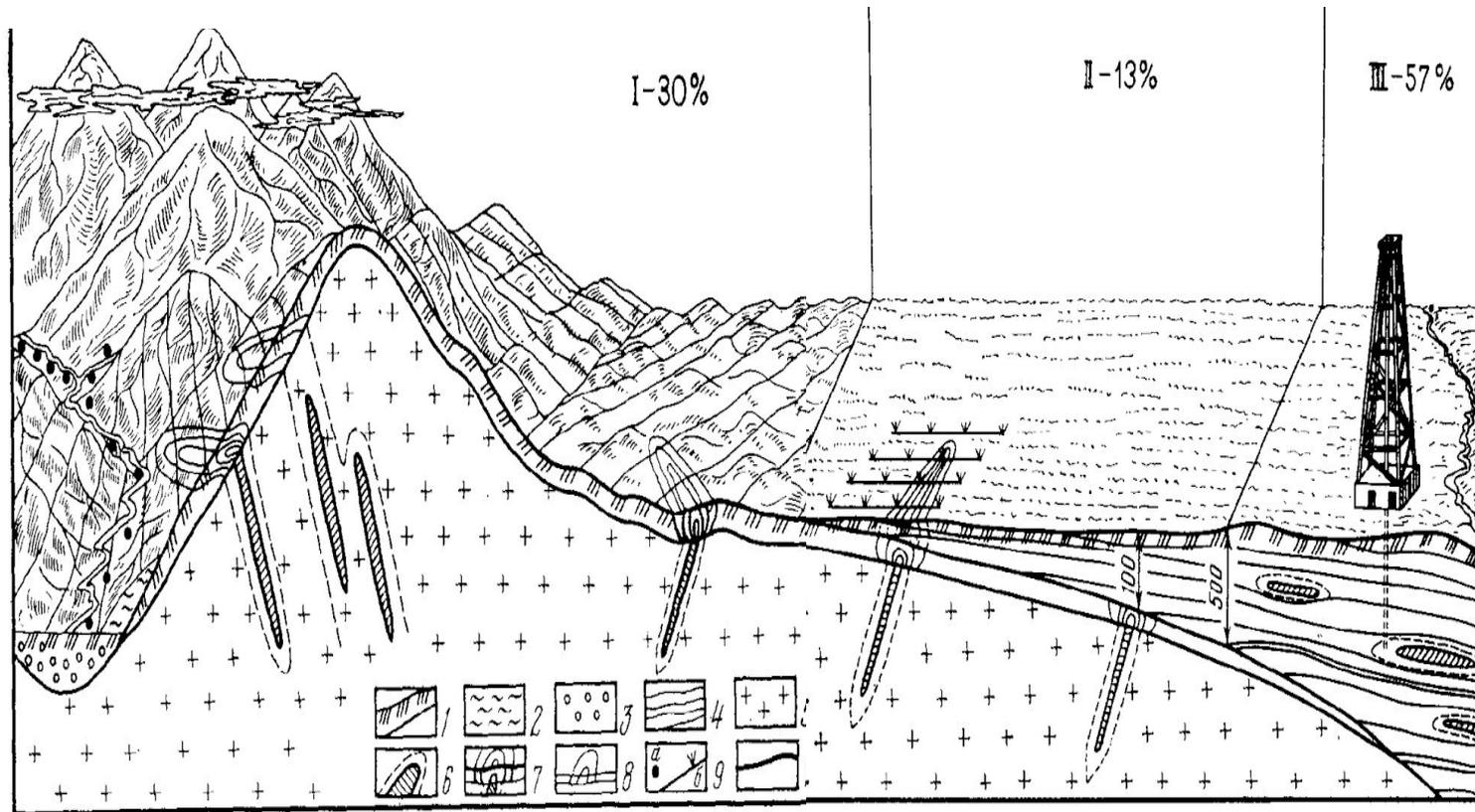


Рис. 95. Районирование территории СССР по условиям геохимических поисков.

1 — современный элювио-делювий и древняя кора выветривания; 2 — лёссовидные суглинки; 3 — аллювий; 4 — осадочный чехол; 5 — породы складчатого фундамента; 6 — рудные тела и их первичные ореолы; 7 — вторичные остаточные ореолы рассеяния; 8 — наложенные ореолы рассеяния; 9 — точки отбора литохимических (а) и биогеохимических (б) проб; 10 — профили литохимической съемки

Атмохимические методы поисков МПИ

Последовательность и возможные сочетания различных видов геохимических съемок

Виды съемок	Масштабы съемок и размеры площадей в км ²							
	1 : 1 000 000 и мельче	1 : 500 000	1 200 000	1 : 100 000	1 : 50 000	1 : 25 000	1 : 10 000	1 : 5000 и крупнее
	$n \cdot 10^6 - n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10 - n$

Твердые полезные ископаемые

Аэрогеохимические	+	+	+	+	+	+	-	-
Литохимические:								
по потокам рассеяния	+	+	++	+	(+)	-	-	-
по вторичным ореолам рассеяния	(+)	(+)	+	+	++	+	++	(+)
по первичным ореолам	-	-	-	-	-	(+)	+	++
Гидрохимические	(+)	(+)	+	(+)	+	(+)	-	-
Атмохимические*	-	-	(+)	++	+	(+)	-	-
Биогеохимические*	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-

Месторождения нефти и газа

Аэрогеохимические	+	+	+	+	+	-	-	-
Атмохимические	-	+	++	+	++	++	-	-
Гидрохимические	(+)	(+)	+	+	+	(+)	-	-
Литохимические	-	-	+	+	+	(+)	-	-
Биогеохимические	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-

Обозначения: ++ — основной вид работ; + — вспомогательный вид работ; (+) — работы ограниченного значения; прочерк — работы не проводятся.

* В закрытых районах.

Атмохимические методы поисков МПИ

Съемки по вторичным ореолам рассеяния

Масштаб	Литохимические (биогеохимические)		Атмохимические		Гидрохимические	
	Сеть, м	Плотность, проб/км ²	Сеть, м	Плотность, проб/км ²	Минимальная плотность, условия:	
					простые	сложные
1 : 1 000 000	10 000 × 500—200	0,2—0,5	—	—	—	—
1 : 500 000	5 000 × 500—200	0,4—1,0	—	—	—	—
1 : 200 000	2 000 × 200	2,5	2 000 × 100	5	0,1	0,2—0,4
1 : 100 000	1 000 × 200—100	5—10	1 000 × 100	10	0,5	1,0
1 : 50 000	500 × 50—100	40—20	500 × 100—50	20—40	1,1	1,5—2
1 : 25 000	250 × 40—50	100—80	250 × 50—100	80—40	2,3	4—5

АТМОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МПИ

Литогеохимические поиски заключаются в систематическом опробовании коренных пород (поиск по первичным ореолам) и рыхлых отложений (поиск по вторичным ореолам). По результатам опробования строятся карты в линиях изоконцентрат (рис.4).

Гидрогеохимический метод применяется при повышенной мощности рыхлых отложений в залесенных, заболоченных и горных районах. Он обладает большой глубиной так как подземные воды проникают в глубокозалегающие рудоносные горизонты. Гидрохимический метод заключается в определении химических элементов в водных вытяжках. По результатам анализа проб строятся гидрохимические карты.

Атмогеохимический метод поисков основан на выявлении газовых аномалий в почве, надпочвенном воздухе и в подземных выработках. Данные опробования выносятся на специальные карты, например, карты эманационной съемки.

Биогеохимический метод основан на выявлении вторичных ореолов рассеяния в растениях. Главным достоинством метода является его глубинность, т.е. возможность обнаружения рудных тел, перекрытых наносами мощностью до 30м. Подготовка биогеохимических проб к анализу заключается в сжигании растений в герметических печах при минимальной температуре во избежание потерь легколетучих элементов. Результаты анализа иногда представляются в виде графика (рис.5), или карт. Поисковое значение имеет не только абсолютная величина содержания тех, или иных элементов, но и их отношений.

Атмохимические методы поисков МПИ

- **Важнейшим видом поисковых геохимических работ в рудных районах являются планомерные съемки масштаба 1:50 000 и смежных масштабов.**
- **В «открытых» районах они ведутся литохимическим методом, путем поисков месторождений по их вторичным остаточным ореолам рассеяния в современном элювио-делювии.**
- **Поиски крупных погребенных месторождений по их наложенным солевым ореолам рассеяния в закрытых районах могут продолжаться при мощности чехла до 100 — 120 м. В этих условиях они сочетаются с наземными атмохимическими и выборочно с глубинными литохимическими съемками масштаба 1:100 000.**
- **Обязательное условие производства этих работ — выполнение всех видов съемок в рамках трапеций соответствующей разграфки, без произвольных пропусков и изъятий, в увязке с многолетними планами .**
- **Это требование распространяется на первичную оценку лито-, гидро-, атмо- или биогеохимических аномалий, реальность которых должна быть подтверждена теми же повторными съемками до перехода.**
- **В классе рудных литохимических аномалий сходные требования предъявляются к геологическому осмотру и количественной интерпретации потоков рассеяния и открытых, т. е. проявленных на современной поверхности вторичных ореолов рассеяния. При этом наложенные ореолы и ореолы закрытого типа, включая частично погребенные, подлежат изучению глубинными лито- литохимическими съемками с оценкой по параметрам остаточных ореолов рассеяния.**

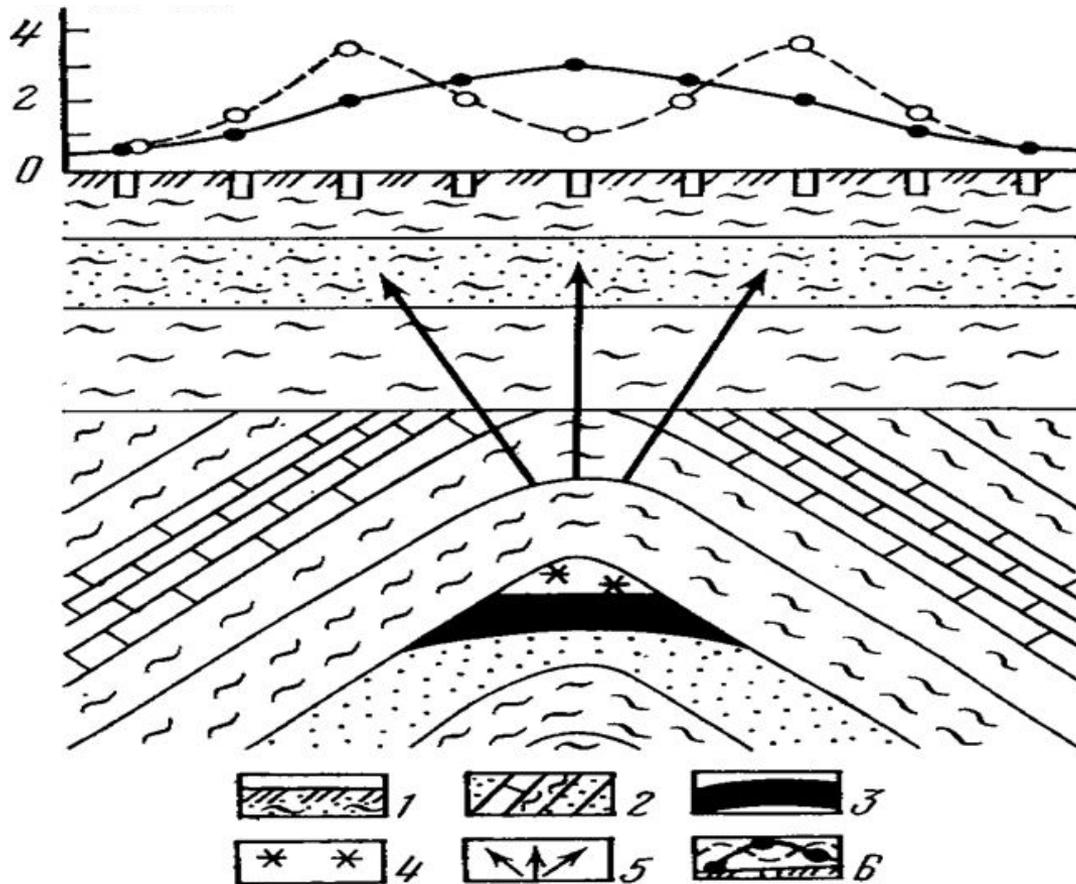
Атмохимические методы поисков МПИ

- Любые горные породы обладают газопроницаемостью благодаря наличию в них сообщающихся между собой пор и трещин.
- Под действием литостатического давления движение газов в свободных порах и трещинах происходят в сторону дневной поверхности в форме эффузии.
- В водонасыщенных породах распространение газа обязано диффузии и определяется градиентом его концентрации.
- Многочисленные данные подтверждают наличие вокруг рудных залежей своеобразной газовой атмосферы, сопровождающей



всего

Атмохимические методы поисков МПИ



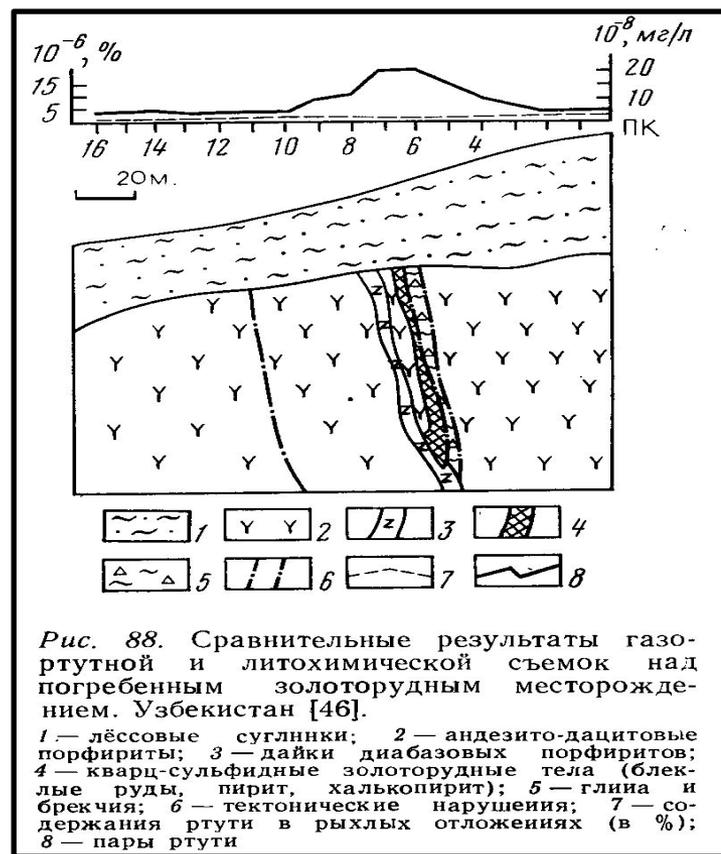
- Схема атмохимического ореола рассеяния газонефтяной залежи.
- 1 — перекрывающие отложения;
- 2 — продуктивная толща;
- 3 — нефть;
- 4 — «газовая шапка»;
- 5 — направление эффузии и диффузии газов;
- 6 — газосъемочные скважины

АТМОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МПИ

Среди газов рудных месторождений выделяются три основные группы:

- 1) газы, сингенетичные процессу рудообразования;
- 2) газовые компоненты зон тектонических нарушений;
- 3) газы гипергенных процессов.

- Газы — компоненты процесса рудообразования содержатся в виде включений в рудных и жильных минералах, слагающих рудные залежи. Для обширной группы гидротермальных месторождений это углекислый газ, сероводород, сернистый газ, метан, водород, летучие соединения галогенов и другие газы, наличие которых в рудных телах доказано многочисленными исследованиями газово-жидких включений в минералах.
- Наиболее распространенный компонент рудообразующей среды — углекислый газ, значительные содержания которого отмечаются в подавляющем большинстве газово-жидких включений.
- Сравнительные результаты газо- газортутной и литохимической съемок над погребенным золоторудным месторождением. Узбекистан [46].
- 1.— лёссовые суглинки; 2 — андезито-дацитовые порфириды; л — дайки диабазовых порфиридов; 4 — кварц-сульфидные золоторудные тела (блек- (блеклые руды, пирит, халькопирит); 5 — глина и брекчия; 6 — тектонические нарушения; 7 — со- содержания ртути в рыхлых отложениях (в %); 8 — пары ртути



Атмохимические методы поисков МПИ

- Вторую группу составляют газы глубинного происхождения, мигрирующие по рудоконтролирующим тектоническим зонам, в которых локализуются рудные тела.
- Эти газы (CO_2 , CH_4 , He , H_2) являются продуктами магматических процессов, а также химических и ядерных реакций, протекающих в земных недрах. По происхождению они близки к газам первой группы и в случае локализации рудных тел в зонах разломов составляют с ними единое целое.
- Высокое содержание CO_2 и других газов в воздухе многих рудников свидетельствует о постоянно протекающей разгрузке больших количеств природного газа в подземную атмосферу.

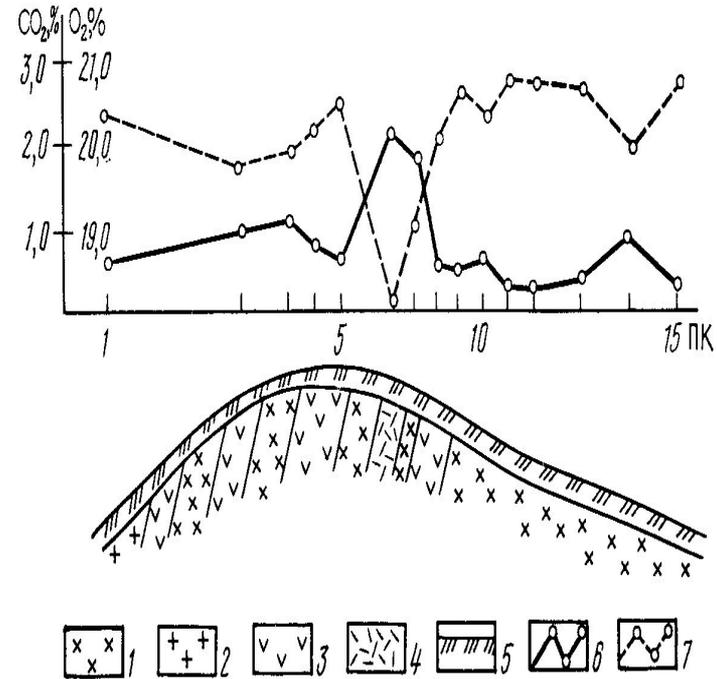
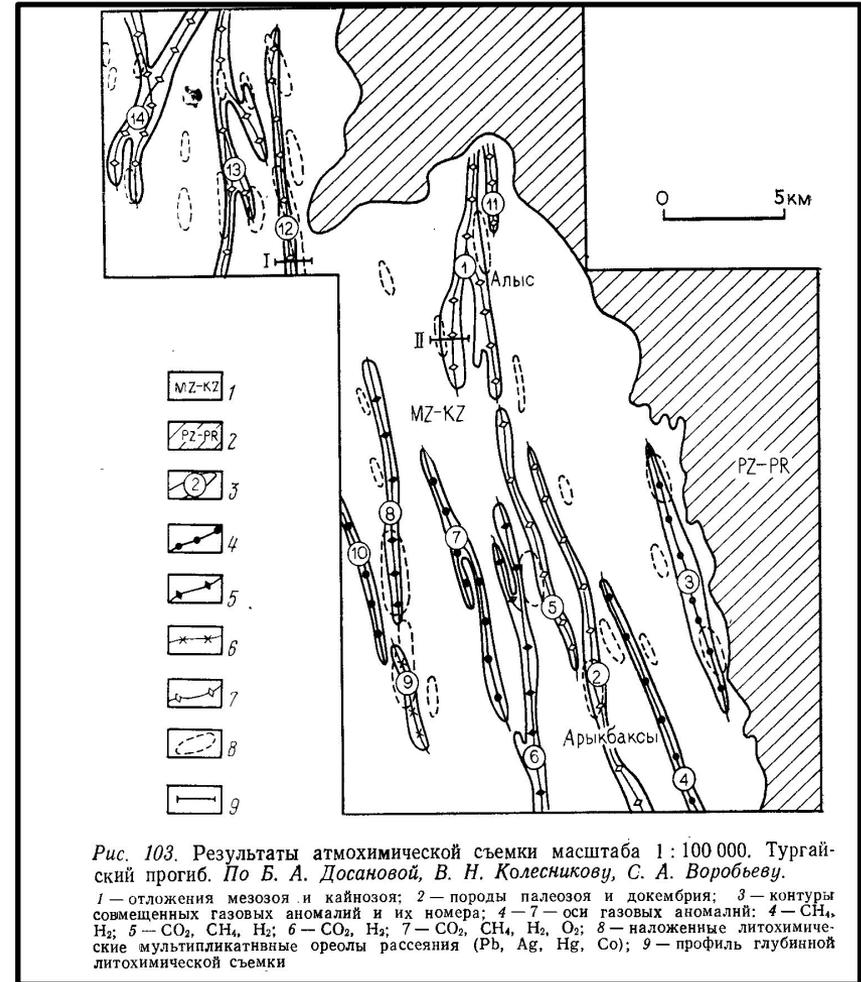


Рис. 89. Газовый ореол над зоной пиритизации. По В. С. и С. С. Глебовским.

1 — гнейсы; 2 — граниты; 3 — кварцевые порфиры; 4 — зона пиритизации; 5 — рыхлые образования; 6, 7 — графики содержаний CO_2 (6), O_2 (7). Глубина пробоотбора 1,5 м

Атмохимические методы поисков МПИ

- К третьей группе относятся газовые компоненты (CO₂, O₂, H₂ и др.), образующиеся в результате процессов, протекающих в зоне гипергенеза рудных месторождений.
- Наиболее активно физико-химические преобразования рудных минералов протекают в зоне окисления сульфидных месторождений. Образующиеся при этом свободная серная кислота и кислые сульфаты металлов при наличии карбонатов или карбонатных вод вступают в реакции с выделением свободного углекислого газа.
- Взаимодействие серной кислоты с рядом сульфидных минералов (пирит, галенит, сфалерит и др.) при низком парциальном давлении кислорода приводит к образованию сероводорода по формальной схеме
 - $\text{MeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$.
- Образование сернистого газа происходит при взаимодействии мелантерита с пиритом при наличии свободного кислорода. Реакция окисления сульфидов требует больших затрат свободного кислорода.
- Столь большое потребление кислорода приводит к заметному понижению его содержания в подпочвенном воздухе над окисляющимися сульфидными месторождениями.



Атмохимические методы поисков МПИ

Газы всех трех групп в сумме определяют формирование многокомпонентных атмохимических ореолов рассеяния рудных месторождений; полевые наблюдения подтверждают реальность их выявления. На рис. 89 показаны результаты атмохимической съемки по профилю, пересекающему зону пиритизации, над ко- которой в почвенном воздухе фиксируется аномально повышенные содержания CO_2 и пониженные O_2 . Эти первые данные имели методическое значение.

- **В практике атмохимические поиски целесообразны только в закрытых районах; примеры таких работ приведены в главе 6. Убедительные результаты атмохимических съемок были по- получены А. И. Фридманом (рис. 90).**
- **По профилю Боргустан — Эссентуки при съемках с шагом 100 м и глубине газоотбора 1,5 м были выявлены аномальные содержания CO_2 до 4,5 % при местном фоне 0,33 % CO_2 .**
- **Заданная по этим данным на одной из аномалий буровая скважина вскрыла на глубине 600 м за- залежь углекислого газа под давлением порядка 60 кПа.**

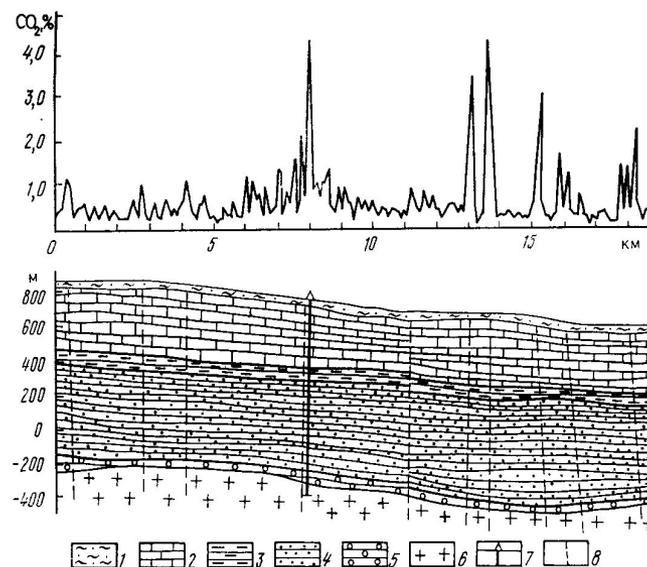


Рис. 90. График содержаний CO_2 и геологический разрез по профилю Боргустан — Эссентуки. По А. И. Фридману.
1 — четвертичные суглинки, глины; отложения мелового возраста; 2 — известняки; 3 — аргиллиты; 4 — песчаники; 5 — юрские конгломераты; 6 — граниты; 7 — скважина; 8 — разломы, установленные по данным атмохимической съемки

Атмохимические методы поисков МПИ

- **При поисках твердых полезных ископаемых в процессе газоотбора определяются содержания CO₂ с помощью шахтного интерферометра (ШИ-10). Остальные газовые компоненты и повторно CO₂ определяются в лаборатории.**
- Пробоотбор при газортутных съемках ведется с помощью специального зонда с золотым сорбентом. После прокачки заданного объема почвенного воздуха проводится возгонка поглощенной ртути путем нагрева сорбента электрическим током и полевой анализ ее содержаний.
- В первые десятилетия с момента применения нефтепоисковой газовой съемки производство работ тормозилось сложно- сложностью и низкой точностью методов газового анализа. Разделение пробы на составляющие ее компоненты А, Б и В происходит вследствие различий в их физико-химических свойствах и многократного повторения элементарных актов сорбции и десорбции.
- Дальнейшее совершенствование методики атмохимических поисков, в первую очередь месторождений нефти и газа, связано с переходом на лазерные газоанализаторы метана и других компонентов, в том числе при аэро- и автомобильных съемках с исследованием приземной атмосферы.
- **Специальные гелиевые съемки выполняются с применением портативных магниторазрядных приборов ИНГЕМ-1. Новые перспективы открываются перед атмохимическими поисками рудных место- месторождений в связи с последними работами чешских геохимиков по определению в почвенном воздухе содержаний Zn, Pb, Cu и F [49].**
- Несомненно, что основной областью применения атмохимического метода по-прежнему останутся поиски месторождений нефти и газа. Краткому рассмотрению практики этих геохимических работ посвящен. Атмохимические поиски руд- рудных месторождений в закрытых районах имеют реальные пер- перспективы быстро опередить по объему гидро- и биогеохимические поиски.

Атмохимические методы поисков МПИ

- В природной обстановке формирование диффузионных газовых ореолов осложняется неоднородностями литологического состава чехла, наличием водоносных горизонтов и тектонических нарушений.** В пользу этой точки зрения говорит наличие «кольцевых» аномалий над нефтяными структурами. Однако преодоление газовым потоком водоносных горизонтов происходит в результате диффузии.
- Две основные операции — полевой пробоотбор и экспресс-анализ проб создают серьезные методические проблемы при атмохимических съемках.**
- Газовый пробоотбор при атмохимических съемках проводится из скважин с глубины ниже горизонта активного газообмена почвенного воздуха с атмосферой.
- Специальные исследования определяют положение этого горизонта на глубине — 1,5 м, практически при поисках рудных месторождений пробы отбираются с глубины 3,0 м, при поисках нефти и газа — с глубины 20—25 м, иногда более 200 м.**
- При поисках рудных месторождений чаще отбираются пробы свободного подпочвенного воздуха в специальные ампулы по 50 мл. Это вызывает необходимость изоляции забоя скважин от атмосферы и удаления из призабойной камеры первых порций воздуха, не отражающих состава подпочвенных газов.
- Объем откачки воздуха из скважины при заполнении ампулы не должен быть меньше пятикратного объема призабойной камеры. Не следует допускать подсос атмосферного воздуха за

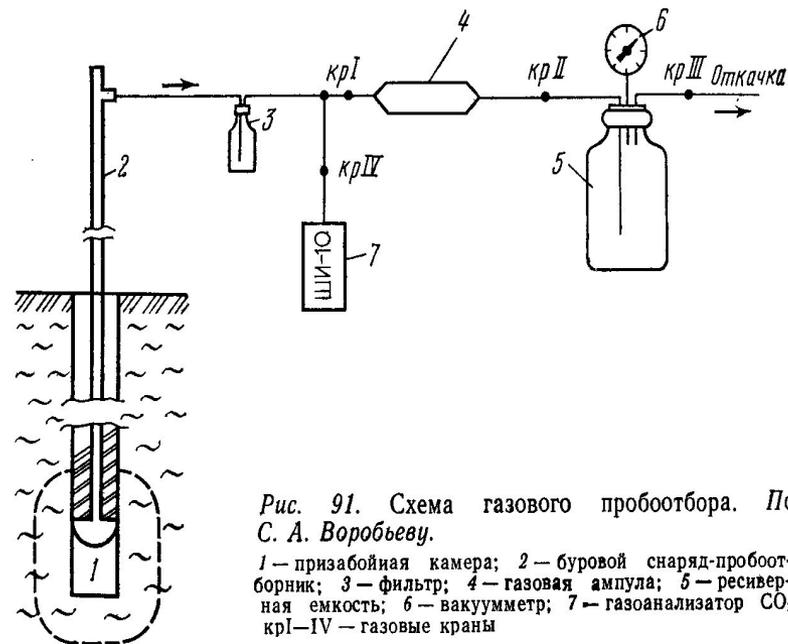


Рис. 91. Схема газового пробоотбора. По С. А. Воробьеву.

1 — призабойная камера; 2 — буровой снаряд-пробоотборник; 3 — фильтр; 4 — газовая ампула; 5 — ресиверная емкость; 6 — вакуумметр; 7 — газоанализатор CO_2 ; кр I—IV — газовые краны

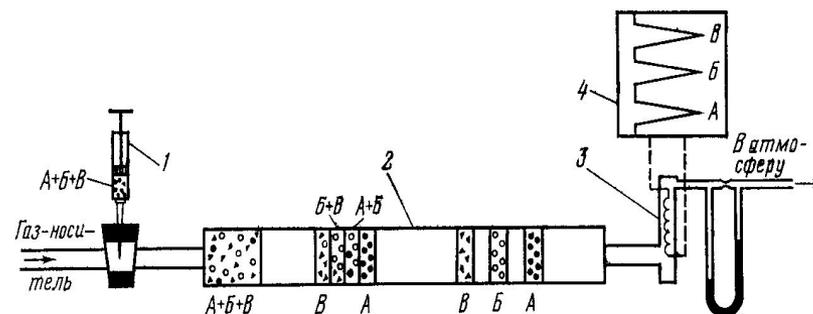


Рис. 92. Схема хроматографического анализа газов.

1 — газовый шприц-дозатор; 2 — разделительная колонка, заполненная сорбентом; 3 — детектор; 4 — самопишущий регистратор. А, Б, В — компоненты анализируемого газа

Атмохимические методы поисков МПИ

• 2.1 Условия применения

- При поисках рудных тел атмохимические методы следует использовать на участках, перекрытых толщей молодых отложений. Их постановка возможна только после проведения опытно-методических исследований, доказавших эффективность атмохимического метода поисков, ожидаемого в конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условиях определенного промышленно-генетического типа месторождений.
- **Применение атмохимических методов поисков рудных месторождений наиболее целесообразно на стадии “Поиски месторождений полезных ископаемых” при масштабе исследований 1 : 50000—1 : 25000. Эти исследования могут проводиться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геологоразведочными работами.**

• 2.2 Проведение опытных работ

- Проведению поисковых работ атмохимическими методами во всех новых районах должны предшествовать опытно-методические исследования, которые должны дать ответ на следующие вопросы: 1) образуются ли над ожидаемыми телами полезных ископаемых в конкретной геологической и ландшафтно-геохимической обстановке газовые ореолы рассеяния; 2) какие индикаторы образуют аномалии; 3) какой является наиболее целесообразная глубина пробоотбора; 4) каковы значения фоновых и аномальных содержаний, выбранных для поисков индикаторов; 5) являются ли в данных условиях атмохимические поиски более эффективными и дешевыми по сравнению с другими методами поисков.

• 2.3. Изображение результатов анализа и оценка аномалий

- Данные, полученные при атмохимических поисках, изображаются в виде графиков, разрезов по скважинам и карт содержаний газовых компонентов. Весь графический материал оформляете; в соответствии с ранее рассмотренными требованиями. Выводы о перспективности выявленных атмохимических аномалий для рудных тел можно делать после проведения глубинного литохимического опробования. При этом скважины должны доходить до коренных горных пород, которые и подвергаются опробованию.

Атмохимические методы поисков МПИ

- МЕТОД РАЗВЕДКИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ (РАДИОАКТИВНЫЙ) — геофизический метод разведки, основанный на выявлении и изучении естественной радиоактивности.
- Наиболее широко применяется при поисках, разведке и эксплуатации урановый м-ний. Имеет значение для поисков и разведки м-ний др. полезных ископаемых (руд, парагенетически связанных с радиоактивными элементами, нефти и газа) и для геол. картирования.
- М. р. р. проявился в начале 20-х годов в СССР (*гамма-методы, эманационные методы*) и связан с именами Кирикова, Богоявленского, Баранова и Граммакова.
- По виду используемых при измерениях излучений М. р. р. подразделяются на α -, β - θ γ методы.
- По области применения — на полевые поисковые методы,
- методы каротажа (см. γ -картаж, *картаж-радиоактивный*),
- методы *радиометрического опробования* и лабораторные радиометрические методы.
- Все полевые поисковые радиометрические методы являются геохим., так как изучают геохим. поля радиоактивных элементов с целью выявления их ореолов рассеяния. Концентрации радиоактивных элементов определяются непосредственно в точке измерения или отбора пробы (*эманационные методы, уранометрическая съемка*) или могут быть определены путём расчета по замеренным значениям γ -поля (γ -методы).
- Др. способами увеличения глубинности поисков являются: использование водных ореолов рассеяния радиоактивных элементов (радиогидрогеол. метод поисков) и *такого стабильного индикатора радиоактивного α -распада, как гелий (гелиевая съемка с определением гелия как в водных пробах, так и в подпочвенном воздухе)*.
- В связи с большим числом выявляемых при радиометрических поисках аномалий выделение среди них аномалий, связанных с урановыми рудными телами или их ореолами, приобретает первостепенное значение. С этой целью в радиометрии успешно развиваются методы определения и использования изотопов радиоактивных элементов (актинона, U^{238} и U^{234} , иония, радиогенного свинца), которые позволяют определять возраст и условия образования изучаемых аномальных концентраций..

Газортутные съёмки

- Газортутные съёмки — косвенный метод поисков месторождений полезных ископаемых, и только применительно к собственно ртутным месторождениям они приобретают значение прямого метода. Тесное геохимическое сродство ртути с серой определяет ее принадлежность к числу халькофильных элементов (Си, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, In, Tl, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, S, Se, Te).
- В сульфидных минералах и месторождениях этой группы элементов обнаруживаются существенно повышенные содержания ртути. Так, содержание ртути в церуссите — продукте окисления галенита — может достигать 0,1 %, что в десятки тысяч раз превышает кларк литосферы.**
- Способность к накоплению ртути отмечается и для месторождений других полезных ископаемых, в том числе нефти и газа. Другими замечательными свойствами ртути являются ее высокая летучесть и способность к восстановлению в гипергенных условиях до самородного состояния с переходом путем прямой возгонки из ее природных соединений в состояние атомарного газа. геохимическим фоном ртути в атмосфере обеспечивает газортутным съёмкам роль одного из важнейших и, в известной мере, универсального метода геохимических поисков полезных ископаемых на закрытых территориях.**
- Пример результатов газортутной съёмки над погребенным золоторудным месторождением показан на. Здесь при мощности лёссовидных



Гелиевая съемка

Гелиометрические исследования применяются для трассирования глубинных разломов земной коры, картирования зон трещиноватостей и других проницаемых зон.

- Гелиевая съемка Основоположником гелиевой съемки в нашей стране является И.Н. Яницкий.
- Созданная им лаборатория, специальное оборудование (ИНГЕМ-1,2) позволили в свое время сделать определенный прорыв в этом направлении.
- Гелиевая съемка традиционно использовалась для картирования перекрытых разрывных структур высокого ранга с дальнейшим выделением так называемых геопатогенных зон и т.д. **Недостатком гелиевой съемки является абсолютно рекордная диффузия гелия в воздушной среде.**
- Кларковое содержание гелия в воздухе $5,2 \cdot 10^{-4}\%$. Максимальные аномалии гелия в воздухе составляют $1-10 \cdot 10^{-5}\%$. То есть аномалии гелия являются крайне слабыми.
- **Все значимые результаты с применением гелиевой съемки получены при опробовании водной среды – ручьи, болота, реки со слабым течением, грунтовые воды скважин.**
- **В воде гелий хорошо растворяется и его аномальные концентрации значительно выше. Опробование водной среды в условиях степного климата с отметками горизонта грунтовых вод не менее 20 метров – задача трудоемкая.**
- **Гелий хорошо растворим в нефтях и является сопутствующим газом на газовых промыслах. Проблема заключается в следующем. Гелий - по своему происхождению мантийный газ или, как минимум, газ, не связанный с нефтематеринскими породами.**

Гелиевая съёмка

- **1. ОБРАЗОВАНИЕ ГЕЛИЯ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ α -РАСПАДЕ**

- До недавнего времени образование атома гелия из α -частицы представлялось одностадийным. А.В. Карякин (1962г.) показал, однако, что процесс нейтрализации α -частицы при ее торможении происходит не мгновенно: как правило, при пробеге она захватывает только первый электрон, и в кристаллическом или метамиктном веществе образуется положительно заряженный ион атома гелия, имеющий большой радиус и до своей нейтрализации практически не способный к миграции. Нейтрализация ионов зависит от электронной проводимости среды — быстрее она происходит в метамиктных и радиоактивных минералах и за более длительные промежутки времени в минералах с плотной кристаллической структурой.
- Альфа-распад и образование заряженных центров вызывают закалку вещества, которая может быть снята сильным прогревом, увеличивающим концентрацию свободных электронов. Этот процесс называется отжигом. Он происходит и под действием частиц большой энергии, в том числе самих α -частиц. Таким образом, при α -излучении идут два противоположно направленных: процесса — отжиг и образование новых ионных центров. При этом возникновение нейтральных атомов гелия нельзя отождествлять с началом его миграции, правильнее считать, что возникает возможность движения — тенденция к движению, которую гелий может реализовать не всегда.

Гелиевая съемка

- 3. ДИФФУЗИОННАЯ МИГРАЦИЯ

- Под диффузией понимается процесс переноса одного вещества в среде другого, происходящий на атомно-молекулярном (корпускулярном) уровне и обусловленный тепловым движением. Кинетика диффузии подобна кинетике теплового и электрического потока; интенсивность диффузии D в случае одномерного движения определяется первым законом Фика:
- Условия диффузионного массообмена в недрах относятся к весьма сложным: обычно диффузия здесь происходит совместно с конвекцией и фильтрацией. Поэтому во многих работах рассмотрены уравнения конвективной или фильтрационной диффузии, Поскольку нас пока интересует отдельная оценка доли каждого из механизмов миграции гелия, укажем факторы, непосредственно влияющие на его диффузию. Отметим также необходимость точной системы отсчета, более простой в случае движения в твердом теле и усложняющейся в флюидах, которые сами по себе подвижны и крайне чувствительны к перепадам температур и давлений. Например, для экспериментальных оценок диффузии газа в воде ее приходится закреплять желатином, без чего диффузия превращается в конвективную диффузию с более интенсивными параметрами переноса. Рассмотрим наиболее простой случай — диффузию в однородном твердом теле.

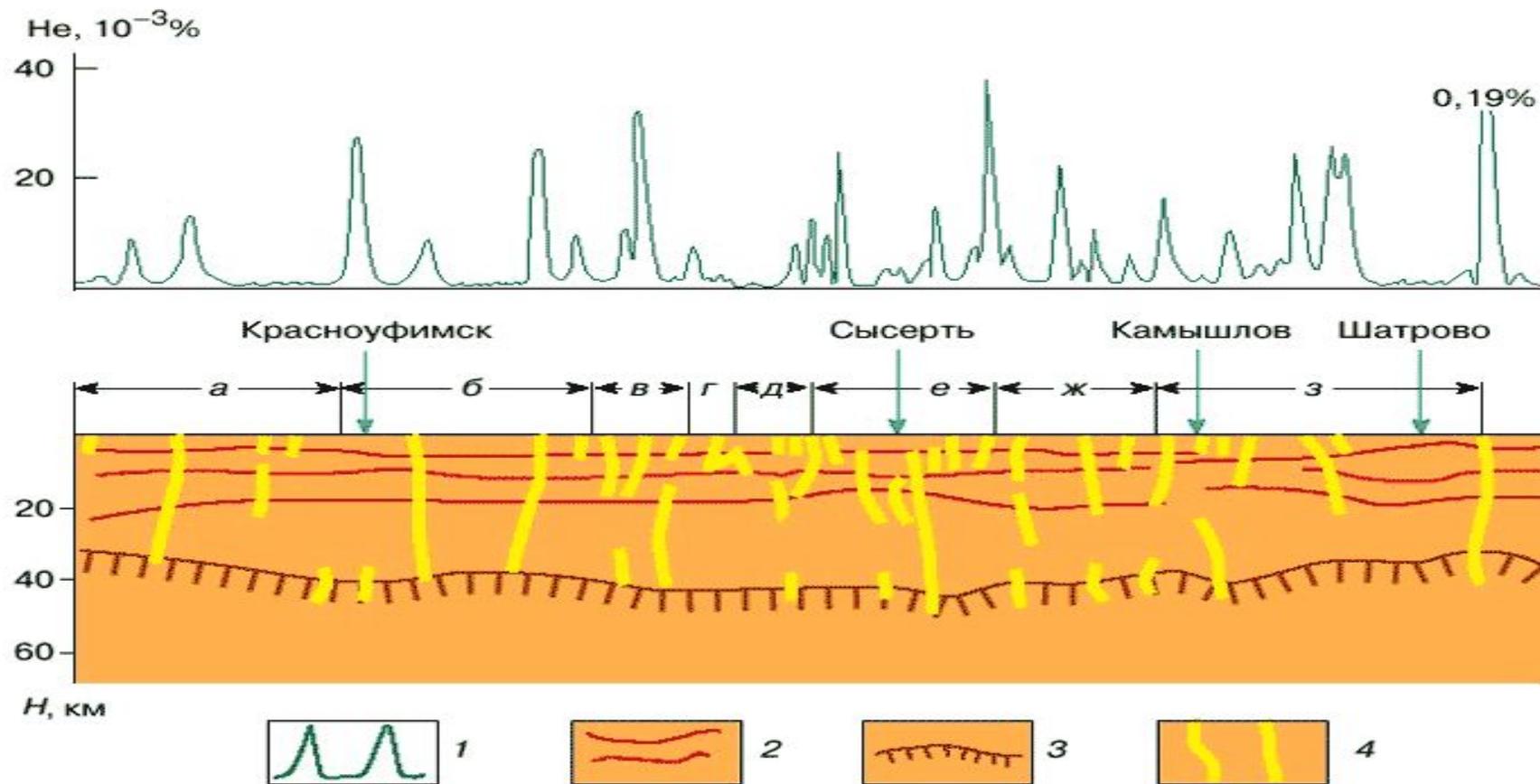
Природное распределение гелия и радона в земной коре

- Природное распределение гелия и радона в земной коре начали активно изучать в связи с поиском урановой минерализации. Поскольку оба элемента являются продуктами распада изотопов уранового и ториевого радиоактивных семейств, их предполагалось использовать в качестве поискового признака.
- Огромный объем выполненных работ позволил сформулировать условия образования в подземных водах и почвенных газах ореолов повышенной концентрации гелия и радона. Было обнаружено, что радон образует, как правило, «плотные» ореолы вблизи геологических тел, имеющих повышенные содержания урана и тория.
- В противоположность этому считается, что аномалии гелия слабо коррелируют с высокими концентрациями радиоактивных элементов, а чаще приурочены к зонам значительной трещиноватости. Детальные исследования позволили выяснить причины обнаруженных закономерностей.
- **Радон (в данном случае и далее радон-222, или ^{222}Rn), как радиоактивный элемент с периодом полураспада всего 3,82 сут, не может накапливаться в подземной гидросфере и почвенных газах. В большинстве случаев миграция радона относительно исходной аномалии радия не превышает первых метров или первых десятков метров. В результате радон при геохимической съемке почвенных газов является малоглубинным трассером.**
- **Гелий (гелий-4, ^4He), как стабильный изотоп, накапливается в подземных водах и газах. Происходит «запоминание» истории контакта воды с породой, при этом заметные избыточные концентрации гелия формируются в процессе длительного (тысячи и миллионы лет) контакта воды или газа с породой. В результате при съемке почвенных газов гелий оказывается элементом, трассирующим зоны разгрузки глубинных вод и, следовательно, является глубинным трассером.**

Гелиевая съемка

- Таким образом, хотя и радон и гелий образуются за счет радиоактивности элементов уранового и ториевого рядов, механизм формирования гелиевых и радоновых аномалий различен. На наш взгляд, это различие позволяет более надежно локализовать именно сейсмически опасные тектонические нарушения. Дадим некоторые пояснения.
- **Во-первых**, гидрогеологический анализ показывает, что сейсмически активные разломы должны иметь более высокую проводимость для флюидов (воды и газов). В противном случае зоны трещиноватости быстро, а по геологическим меркам почти мгновенно теряют проницаемость, залечиваясь вторичными минералами, которые зачастую содержат повышенные содержания урана и тория. Таким образом, обнаружение проницаемости, а значит, и постоянно обновляемой трещиноватости говорит о существовании непрерывных микросейсмодвижений, которые обычно подтверждаются также геофизическими наблюдениями.
- **Во-вторых**, установленная корреляция гелия и радона указывает на возможную их быструю совместную вертикальную миграцию. Так как ни гелий, ни радон не могут образовать в подземной гидросфере отдельную свободную фазу, их совместный перенос возможен только с водой или спонтанными газами (обычно это метан или углекислота). Таким образом, совмещенные аномалии гелия и радона должны указывать на зоны вертикальной циркуляции флюидов, охватывающей значительные (сотни метров) участки геологического разреза. Очевидно, что такая зона повышенной проницаемости может быть обусловлена только тектонической трещиноватостью.
- **В-третьих**, на контакте насыщенной зоны и зоны аэрации происходят однонаправленный (по термодинамическим свойствам) переход гелия и радона из воды в подпочвенные газы и образование аномалий в них. Поскольку скорость газообмена зоны аэрации с атмосферой значительно выше темпов дегазации, существование совместных гелий-радоновых аномалий в подпочвенных газах возможно только при постоянном подтоке избыточных глубинных газов.

Атмохимические методы поисков МПИ



Результаты гелиевой съемки и сопоставление их с данными сейсмических методов:

а - восточная часть Русской платформы; б - Предуральский прогиб; в - Западно-Уральская зона складчатости; г - Центрально-Уральское поднятие; д - Тагило-Магнитогорский прогиб; е - Восточно-Уральское поднятие; ж - Восточно-Уральский прогиб; з - Зауральское поднятие; 1 - график концентрации гелия в подземных водах, 2 - основные отражающие границы по данным сейсмических методов исследования, 3 - граница поверхности Мохоровичича, 4 - разрывные нарушения земной коры по данным сейсмических методов.

- СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

По данным опробования составляется карта фактического материала, куда выносятся точки гелиевой съемки с принятой для района системой нумерации; одновременно строится карта наблюдаемых концентраций с результатами анализа проб..

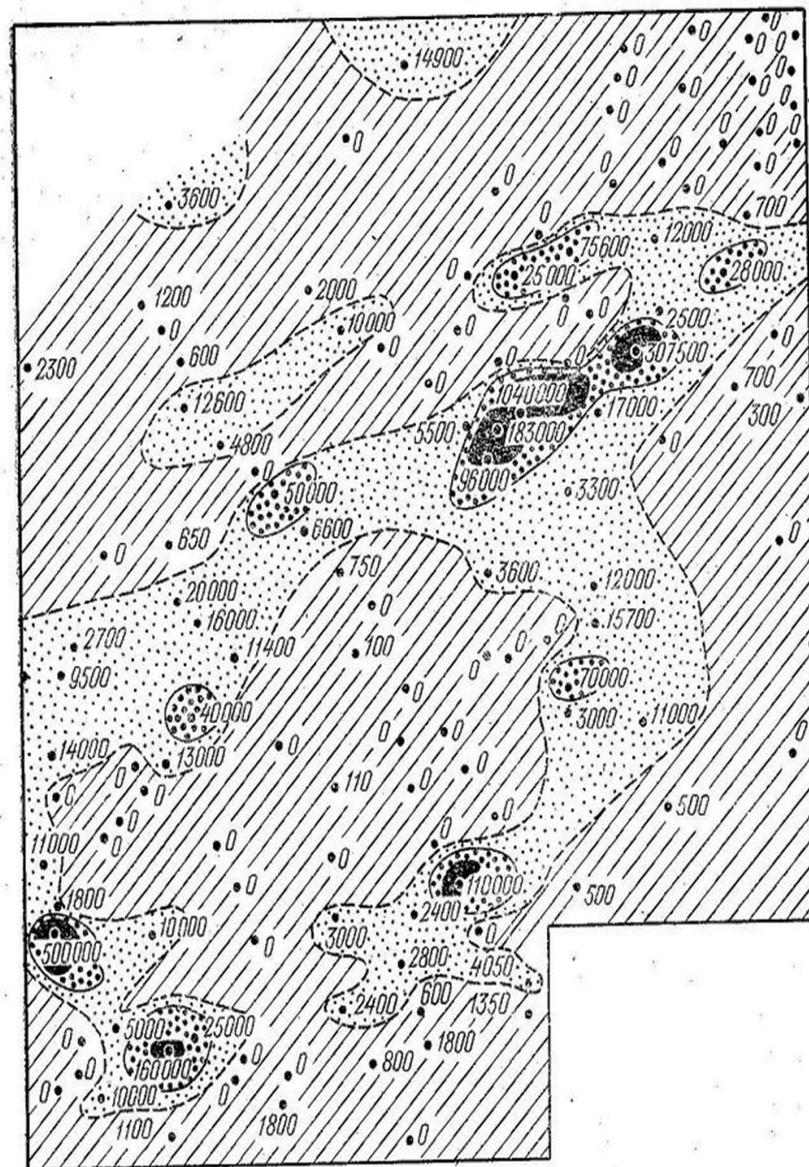
- Перечислим наиболее часто применяемые графические построения:

- **1) схема наблюдаемого поля гелия начального этапа работ;**

- **2) карта наблюдаемого поля гелия, составляемая с использованием статистической обработки материала и с учетом коэффициента контрастности;**

- **3) карта «сглаженной» поверхности.**

Все три варианта строятся вручную. Кроме того, отработано автоматизированное построение карт в изолиниях с проведением; тренд-анализа на ЭВМ. Приведем примеры ручного и машинного построения. Варианты ручного построения проще на ранних этапах работ при небольшом объеме фактических материалов. При этом не следует избегать построения карт по данным редкой рекогносцировочной сети опробования. Специфика распределения гелия такова, что предварительное рассмотрение материала уже дает информацию об основных особенностях геологического строения района.



Эманационная съёмка

- МЕТОДЫ ЭМАНАЦИОННЫЕ — радиометрические методы разведки, основанные на изучении концентраций радиоактивных эманации (радона, торона и актинона) в
 - **подпочвенном воздухе (поверхностная и глубинная эманационная съёмка),**
 - **в скважинах (эманационный каротаж),**
 - **в горных выработках (в основном для целей дозиметрии).**
- Пробы из шпуров и скважин отбирают с помощью специальных устройств — зондов и пакерзондов, содер. радиоактивных эманации определяют с помощью эманометров.
- Наиболее употребительна радоно-тороновая съёмка, при которой в пробах воздуха определяются концентрации радона и торона путем измерений ионизационного тока при двух экспозициях. Определение актинона (период полураспада 3,93 сек) возможно только в проходящей струе воздуха. Для этой цели разработаны специальные приборы — актинометры.
-

Эманационная съёмка

- М. э. (эманационная съёмка) применяются при поисках в крупных м-бах, для детализации радиоактивных аномалий, при глубинных поисках в случаях, когда шпуры не доходят до представительного горизонта. Применению М. э. предшествует подготовка площадей имеющая целью определить мощн. и характер рыхлых отл.
- Непригодны для М. э. заболоченные площади, площади с высоким уровнем грунтовых вод, участки развития щебенистых отл. и мерзлых п. На участках с мощн. рыхлых отл. свыше 5—7 м эманационная съёмка ставится только в глубинном варианте с отбором проб из глубоких шпуров. Измерения производятся по профилям при малых расстояниях между точками наблюдений (5-10 м).
- **По полученным значениям концентраций радона и торона строят карты в изолиниях или графиках. Возможными причинами эманационных аномалий могут быть выходы радиоактивных рудных тел под рыхлые отл., ореолы рассеяния радиоактивных элементов, переотложенные скопления радиоактивных элементов, выходы радиоактивных вод, увеличение эманационной способности г. п., разломы и трещины, а также изменение радиоактивности коренных п. и физ. свойств наносов (пористость, влажность)**

Эманационная съёмка

- **Группа методов эманационной съёмки, применяемой при геологической разведке, основанных на использовании различных регистрирующих устройств пленочные трековые и полупроводниковые детекторы альфа-частиц, сорбенты дочерних продуктов распада изотопов радона (ДПР), термолюминесцентные дозиметры и др.), которые устанавливаются в грунт на определенную глубину и экспонируются в течение некоторого оптимального срока для набора статистически достоверной информации об активности радона, содержащегося в грунтовом воздухе.**
 - **В группу экспозиционных эманационных включают:**
 - **трековый метод,**
 - **метод САН (способ активного налета),**
 - **электронную альфаметрию,**
 - **термолюминесцентную дозиметрию ДПР.**
- **Экспозиционные методы измерения активности радона в грунтовом воздухе сводят к минимуму влияние факторов отбора пробы и вариаций активности радона на результаты производимых эманационных съёмок.**
- **Опыт применения различных вариантов Э.э.м. показал, что при проведении поисковых работ на радиоактивное и парагенетически с ним связанное минеральное сырье основными методами, применение которых наиболее оптимально, следует признать трековый метод, основанный на подсчете протравленных треков альфа частиц, образовавшихся в материале полимерных пленок, и САН, основанный на полевой альфа-радиометрии пленочных адсорбентов ДПР, устанавливаемых в шпурах глубиной около 1,0 м.**
- **В прежние годы в РФ серийно выпускались аппаратные комплексы метода САН на базе портативных альфа-радиометров «Омега-5М», «Онега-С» (В. К. Титов, В. А. Венков, Т. Л. Авдеева и др.; «Экспозиционные эманационные методы» Л., Недра, 1985)**

Эманационная съёмка

- Изотопно-почвенный метод (ИПМ) разработан в 1980-1986 Лабораторией изотопных методов анализа ВИМСа [3, 6, 8, 9]. В 1984 году на метод было получено Авторское свидетельство на изобретение [8].
- ИПМ позволяет выявлять глубокозалегающие урановые руды, локализовывать наиболее перспективные участки под горно-буровые работы, осуществлять разбраковку радиометрических и радиогидрогеологических аномалий, трассировать зоны эманулирующих тектонических нарушений.
- Сущность ИПМ заключается в опробовании представительного иллювиального горизонта «В» почвы, количественном измерении удельных активностей ^{210}Po и ^{210}Pb (приведенных к моменту отбора), выявлении аномальных соотношений $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (изотопный параметр ИП) в пределах участков, аномальных по содержаниям этих радионуклидов
- **Изотопно-почвенный метод (ИПМ)** позволяет по избытку ^{210}Po над ^{210}Pb ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb} > 1$) на участках с аномальными содержаниями этих радионуклидов в представительном почвенном горизонте выявлять глубокозалегающие урановые руды.
- Аномальные содержания при равновесном соотношении ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb} = 1$) указывают либо на наличие эманулирующих зон разломов, либо на приповерхностные инсоляционные концентрации U.
- В ореольных водах урановых месторождений присутствуют аномальные концентрации ^{210}Po и ^{210}Pb при значительном преобладании ^{210}Po над ^{210}Pb , и по мере удаления от рудного тела отношение этих радионуклидов в водах все более стремится к равновесному, а концентрации - к фоновым.
- Таким образом, аномальные концентрации и специфические соотношения между радионуклидами в водах и почвах позволяют судить о наличии радиоактивного ореолов, связанных именно с рудными телами, представляющими промышленный интерес.
- В зависимости от сочетания климатических и геологических условий, влияющих на условия миграции радионуклидов от источника, подтвержденная предельная глубинность ИПМ составляет до 350 метров. Опытные-методические исследования с применением этих методов проводятся нами с начала 80-х годов на объектах Кировского, Сосновского, Таежного, Приленского, Волковского, Степного ПГО

Эманационная съёмка

- **Эманационные методы рассчитаны на совместное определение $^{222}\text{Rn} + ^{218}\text{Po} + ^{214}\text{Po}$.**

- сорбционных(фильтрационных) методах проводится измерение ДПР радона.
- Разработаны радиометрические и спектрометрические методы определения ДПР радона (методы Кузнеця, Маркова, Tomas and Tsyvoglou methods). Для этих методов общим является отбор пробы аэрозолей воздуха на аэрозольный фильтр и последующее измерение активности собранной на этом фильтре. Таким образом определяют: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ЭРОА (эффективная равновесная объемная активность) радона - параметр, который введен для дозиметрии радона, а также коэффициент равновесия, ^{222}Rn . В общем случае радон и его ДПР неравновесны. ЭРОА радона - это такая равновесная ($^{222}\text{Rn} = ^{218}\text{Po} = ^{214}\text{Pb} = ^{214}\text{Bi} = ^{214}\text{Po}$) концентрация радона, которая имеет равное выделение энергии с неравновесной концентрацией радона - т.е. уравнивание по энерговыделению.
- При использовании ДПР для измерений радона выполнить интерпретацию результатов измерений во всех случаях позволяет знание степени равновесия ДПР, что определяется методом отбора пробы и моментом времени, когда нарушено или достигнуто равновесие ДПР в момент измерения. Для измерения используется фиксированная порция (проба) воздуха в камере, прокачка порции воздуха через аэрозольный фильтр, прокачка порции воздуха через сорбент (активированный уголь, толуол, др.).

Эманационная съёмка

- Другие методы измерений:
- **интегральный трековый метод**, основанный на облучении тонких пленок, который дает усредненную характеристику за продолжительное время (1-2 месяца); метод сорбции радона на активированном угле - этот метод может быть активным - сорбция радона осуществляется путем продувания воздуха и интегральный, когда пассивна сорбция происходит в течении 1-7 дней (чувствительность используемого оборудования (гамма-спектрометр или жидкостно-сцинтилляционный счет) определяет приемлемый размер детектора (200-500 гр активированного угля) или
- **Эманационные камеры (ЭК)** известны, как первый пример применения сменных камер. Присоединение к ФЭУ осуществляется для измерений ЭК - счетной камеры измерительного прибора. Сменные камеры позволяют разделять процессы отбора проб и их измерения тем самым расширяя рамки применимости методов измерений. Смена камеры позволяет минимизировать влияние предыдущей измеренной пробы на результаты измерения последующих проб. В жидкостном сцинтилляционном счете (ЖСС) этот принцип развит существенно, что позволило как совершенствовать сам метод ЖСС, создавать на его основе универсальное оборудование, так найти множество применений на основе этого универсального оборудования. Пример этому - прибор для измерений радона в почвенном воздухе на основе сцинтилляционных камер [SISIE](#). Перенос идеи на ЖСС имеет два варианта образа: сцинтилляционная виалка на основе термопластичного сцинтиллятора и традиционная виалка, заполняемая ЖС, в который предварительно закачан радон (продувание через барботер)
Подобным образом получил развитие описанный выше метод измерений радона в воздухе на основе активированного угля - применение ЖСС позволило в 100 раз уменьшить количество используемого активированного угля.

Гидрохимический метод поисков МПИ

- 1. Гидрохимический метод

- Гидрохимические методы поисков месторождений основаны на исследовании химического состава природных поверхностных и подземных вод. Принципиальную основу этого метода составляют способность воды к растворению пород, ее участие в химических превращениях минералов и свойства воды как подвижной среды. Связь между химическим составом воды и наличием вблизи водоисточника залежей полезных ископаемых не вызывает сомнений и является одной из причин возникновения гидрохимических аномалий, имеющих поисковое значение.
- 1.1 Условия применения
- Основные положения. Наиболее эффективным является применение гидрогеохимического метода для поисков месторождений полезных ископаемых, находящихся в следующих условиях:
 - 1) на участках, перекрытых мощным чехлом приносных отложений, когда неэффективен даже биогеохимический метод поисков;
 - 2) в резкорасчлененных высокогорных районах, где из-за специфических условий дренажа подземных вод метод становится не только более глубинным, но и возможна более точная интерпретация гидрогеохимических аномалий;
 - 3) в платформенных условиях при вероятном залегании те полезных ископаемых ниже местных базисов эрозии.

• В зависимости от поставленной задачи гидрохимические исследования

Гидрохимический метод поисков МПИ

- **Региональные исследования.** Они обычно способствуют выяснению общей геохимической и гидрогеохимической характеристики региона и выделению наиболее перспективных территорий, поэтому рассматриваемый этап имеет особое значение в гидрогеохимических исследованиях. В пробах, отобранных на это этапе, должно определяться содержание максимального числа индикаторов полезных ископаемых, вероятных для изучаемого региона.
- **Собственно поисковые исследования.** Эти работы проводятся: на перспективных площадях для выявления гидрогеохимических ореолов и выделения участков для постановки детальных работ.
- **Детальные исследования.** Они ведутся для оконтуривания месторождений, а в определенных случаях— отдельных тел полезных ископаемых, на перспективных участках, выявленных предыдущими

Биогеохимический метод

- **Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании химического состава живого вещества, как правило, состава растений. Между химическим составом живых организмов и составом среды обитания существует бесспорная зависимость, в предельных случаях проявленная сменой их видового состава, усиленным или угнетённым развитием и появлением морфологических особенностей. Современные биогеохимические поиски связаны с химическим анализом вещества, наблюдения над видовым составом и морфологическими особенностями растительности составляют предмет геоботанических исследований. В результате исследований неизменно подтверждалось наличие биогеохимических аномалий в химическом составе растений, произрастающих над месторождениями меди, цинка, свинца, урана, молибдена, никеля, бора, золота и других полезных ископаемых.**
- Обычно эти биогеохимические съёмки проводились путем опробования одного или нескольких господствующих видов растений, озоления растительного вещества и спектрального анализа полученной золы.
- Для характеристики геологической роли биогенной миграции микроэлементов Б. Б. Полонов предложил величину отношения между содержаниями элемента в золе растения и в почве, на которой оно произрастает. Этот показатель получил название коэффициента биологического поглощения и обозначается A_x :
 - $A_x = C_2 / C_1$,
- где C_2 — содержание элемента в золе растения, %; C_1 — содержание этого элемента в почве.

Биогеохимический метод

• 3.1. Условия применения

- Основные положения. Применение биогеохимического метода поисков целесообразно в тех случаях, когда он обладает преимуществом перед более простым литохимическим методом поисков по вторичным ореолам рассеяния.
- **Можно считать, что биогеохимический метод является одним из наиболее эффективных методов в следующих ландшафтно-геохимических и климатических зонах:**
 - 1) гумидной зоне при замедленной денудации, если широкое развитие получили процессы выщелачивания элементов-индикаторов из элювиально-делювиальных отложений и кор выветривания;
 - 2) гумидной и умеренно влажной зонах, если вторичные лито-химические ореолы перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 40 м, а в отдельных случаях—до 80 м;
 - 3) пустынь или полупустынь аридной зоны, если вторичные литохимические ореолы или непосредственно рудные зоны перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 20—40 м; 4) заболоченных равнин и торфяников при неглубоком (2—10 м) залегании потенциально рудовмещающих коренных пород;
 - 5) на участках, покрытых сплошным моховым покровом, где отбор литохимических проб затруднен и связан с большими затратами;
 - 6) на участках, покрытых растительным покровом, и со слепыми литохимическими ореолами рассеяния, верхняя граница которых находится на глубине не менее 1 м от дневной поверхности;
 - 7) на участках, перекрытых крупноглыбовыми куррумовыми осыпями, поросшими деревьями и кустарниками;
 - 8) на болотах (при условии их промерзания и возможности зимнего отбора проб).

Биогеохимический метод

- В зависимости от поставленной задачи биогеохимические исследования делятся на
 - региональные (1:200000—1:100000);
 - собственно поисковые (1:50000—1:25000)
 - детальные (1:10000).
- **Региональные работы.** Они способствуют выяснению общей геохимической и биогеохимической характеристики районов, при их проведении возможно обнаружение биогеохимических ореолов части месторождений. Основным же заданием на этом этапе должно быть проведение опытно-методических исследований, обеспечивающих эффективное ведение поисков биогеохимическим методом на последующих этапах.
- **Собственно поисковые работы.** Эти исследования должны привести к обнаружению биогеохимических ореолов новых месторождений полезных ископаемых и установлению общих закономерностей их размещения. При проектировании глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых биогеохимические поиски должны предшествовать бурению, а их данные — учитываться для определения мест заложения скважин.
- **Детальные работы.** Основная задача этих исследований выявление и оконтуривание биогеохимических ореолов месторождений, отдельных рудных зон и тел.
- **Опытные работы.** Опытные работы должны проводиться над рудными телами и безрудными участками и включать ботанические и биогеохимические исследования. При ботанических исследованиях определяют основные виды растений, произрастающих в данном районе, и составляют гербарий. С помощью биогеохимических опытных работ решают следующие задачи: 1) определение влияния фенологических фаз развития и возраста на содержание элементов-индикаторов в наиболее распространенных растениях района; 2) установление закономерностей распределения элементов-индикаторов по частям растений; 3) выявление особенностей связи между металлами в растениях; 4) установление у основных растений района физиологических барьеров поглощения элементов-индикаторов; 5) определение растений, наиболее пригодных для опробования; 6) выявление комплекса элементов-индикаторов, определение содержаний которых необходимо проводить в пробах; 7) установление морфологических и биохимических особенностей биогеохимических ореолов в зависимости от состава и размеров рудных тел и вторичных литохимических ореолов, от мощности рыхлых отложений, ландшафтно-геохимических условий; 8) определение в конкретных ландшафтно-геохимических условиях глубинности метода при отборе в пробы основных растений; 9) сопоставление результатов биогеохимических поисков с литохимическими; 10) установление различий в распределении основных элементов-индикаторов в одних и тех же растениях, произрастающих в различных ландшафтно-геохимических условиях.