



# Общая геохимия

## Лекция 22

Геохимия гидросферы

Геохимия атмосферы

Гидрогеохимия (геохимия подземных вод) - это раздел гидрогеологии, который изучает химический состав гидросферы и протекающие в ней геохимические процессы. Под геохимическими процессами понимается формирование химического состава вод и закономерности миграции в них химических элементов.

# Формы подземной воды в недрах:

## 1. Свободные воды.

Наиболее изученные формы подземных вод. Они занимают пустоты, трещины и поры в горных породах, передвигаются под влиянием силы тяжести и напорного градиента, передают гидростатическое давление.

Различают воды зоны аэрации (капиллярные воды) и зоны насыщения (гравитационные воды).

# Формы подземной воды в недрах:

## 2. Поровые воды.

Под поровыми водами (растворами) понимаются воды, насыщающие поры горных пород, тонкие капилляры, микротрещины, межзерновое пространство и удерживаемые в породах как самой замкнутой системой микрополостей, так и силами межмолекулярного сцепления.

Поровая вода состоит из свободной (гравитационной) воды, а также из связанной воды.

- Три типа взаимоотношения между поровыми и пластовыми водами:
- 1. Поровые воды более концентрированы, чем пластовые, принимают активное участие в формировании солевого состава последних (наиболее типичный случай).
- 2. Поровые воды менее минерализованы и обогащены микрокомпонентами, чем пластовые воды.
- 3. Поровые воды идентичны пластовым водам, когда установилось равновесие в системе порода--поровый раствор--пластовые воды.

Гидрогеохимическая зональность поровых вод:  
увеличение минерализации с глубиной.

# Формы подземной воды в недрах:

## 3. Связанные воды.

Взаимодействие твердых минеральных частиц с водой или водными растворами электролитов приводит к образованию на границе твердой и жидкой фаз поверхностного «граничного» (межфазного) слоя влаги, обладающего свойствами, которые отличаются от свойств воды в «объеме», - связанной воды.

Отмечается ее энергетическая неоднородность, которая определяется количеством активных поверхностных центров, удаленностью молекул воды от поверхности, видом и концентрацией водного раствора, влиянием  $P$  и  $T$ .

Наиболее существенна роль этого слоя влаги для высокодисперсных глинистых пород

1. Молекулярная адсорбция.
2. Полимолекулярная адсорбция.
3. Поверхностно-осмотический переток воды.
4. Капиллярное впитывание.

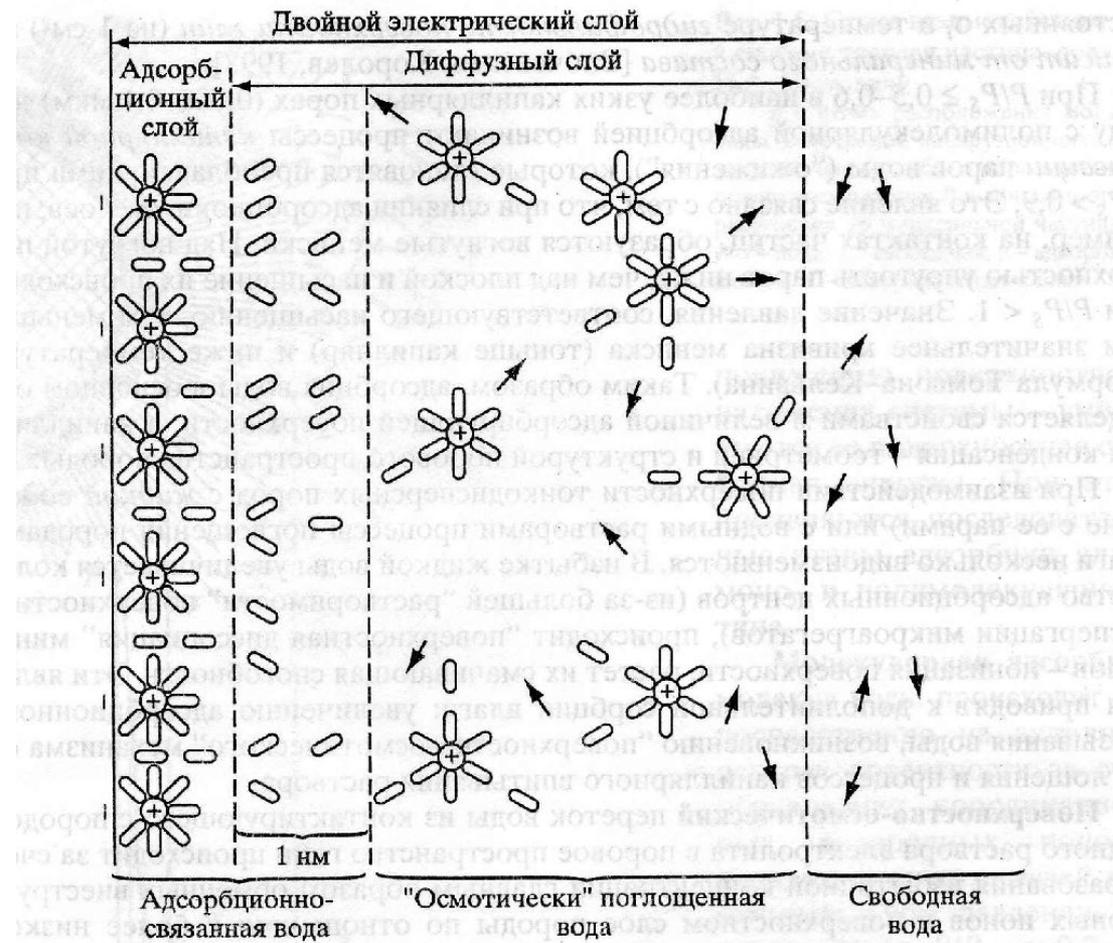
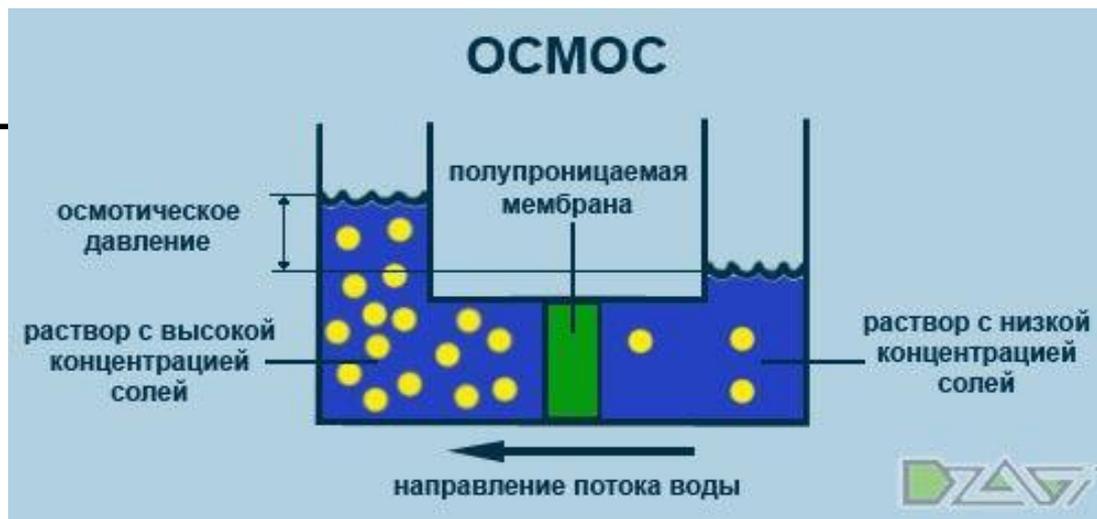


Рис. 1.6. Виды связанной воды, по [Злочевская, 1969]

- **ОСМОС** - односторонняя диффузия растворителя (такого как вода) через естественную или искусственную полупроницаемую мембрану (перегородка, пропускающая только определенные растворенные вещества) в более концентрированный раствор.
- Так как более концентрированный раствор содержит меньшую концентрацию молекул растворителя, в него путем диффузии просачивается растворитель из менее концентрированного тех пор, пока концент стороны мембраны.



# Классификация форм связанной воды в породах:

1. Вода, связанная в кристаллической структуре минералов.
2. Вода, адсорбционно-связанная с поверхностью минералов.
3. Вода переходного состояния (от связанной к свободной).

Эта вода постепенно замерзает при  $T$  от  $-12^{\circ}\text{C}$  и ниже. Плотность в среднем  $1.2-1.5 \text{ г/см}^3$ . Вязкость связанной воды выше, а растворяющая способность по отношению к солям - ниже, чем у свободной воды. Объем связанных вод глинистых пород во много раз превышает объем гравитационных подземных вод.

# Состав подземных вод

Природные воды – сложные водные растворы (В.И.Вернадский). В их составе выделяются: макро- и микрокомпоненты, газы, органические вещества, микроорганизмы (живое вещество). Большое значение имеют изотопы химических элементов как самой воды, так и растворенных веществ.

В настоящее время в подземных водах различными методами анализа определяется около 83 химических элементов таблицы Менделеева, характеризующих общий химический тип воды, ее свойства и имеющих разное научное и практическое значение.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
1							H 5 6	He 4					
2	Li 3 5	Be 1 5	B 1 2 3 5	C 1 2 5	N 1 2 5	O 1 5 6	P 1 2 5	Ne 6					
3	Na 1 2 3 5	Mg 1 3 5	Al 1 2 5	Si 2 5 6	P 1 4 5 6	S 1 2 3 5	Cl 1 2 3 5	Ar 6					
4	K 3 5	Ca 3 5	Sc 5 6	Ti 5 6	V 1 5 6	Cr 1 5 6	Mn 1 5	Триады переходных элементов →	Fe 1 2 5	Co 5	Ni 5		
	Cu 1 4 5	Zn 1 4 5	Ga 5 6	Ge 3 5	As 1 2 4 5	Se 1 2 5	Br 1 2 3 5	Kr 6					
5	Rb 3 5	Sr 1 3	Y 5	Zr 5	Nb 5	Mo 1 5	Tc 1 5	Триады переходных элементов →	Ru 6	Rh 6	Pd 6		
	Ag 5	Cd 4 5	In 6	Sn 5	Sb 4 5	Te 6	I 2 3	Xe 6					
6	Cs 3 5	Ba 4 5	La 5	Hf 6	Ta 4 5	W 4 5	Re 5	Триады переходных элементов →	Os 6	Ir 6	Pt 6		
	Au 5	Hg 1 5	Tl 6	Pb 1 4 5	Bi 5	Po 6	At 6	Rn 2 5					
7	Fr 1	Ra 4	Ac	Ku									
ЛАНТАНОИДЫ													
Ce 5 6	Pr 6	Nd 5	Pm 6	Sm 6	Eu 5	Gd 5	Tb 6	Dy 6	Ho 6	Er 6	Tm 6	Yb 6	Lu 6
АКТИНОИДЫ													
Th 5	Pa	U 1 4 5	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)

Рис. 1.7. Химические элементы подземных вод

1 – нормируемые в питьевых водах; 2 – биологически активные в минеральных лечебно-столовых и лечебных питьевых водах; 3 – добываемые из подземных вод в промышленных масштабах; 4 – перспективные для добычи из подземных вод; 5 – используемые при поиске месторождений полезных ископаемых; 6 – исследуемые в подземных водах

Природные воды по величине минерализации (г/кг) делят на следующие группы:

1. Пресные ( $< 1$ ).
2. Солоноватые (1-25).
3. Соленые (25-50).
4. Рассолы ( $>50$ ).

Рассолы, в свою очередь, делятся на:

1. Весьма слабые (50-70).
2. Слабые (70-140).
3. Крепкие (140-270).
4. Весьма крепкие (270-350).
5. Сверхкрепкие ( $>350$ ).

Состав растворенных в подземных водах природных соединений определяется прежде всего составом литосферы и распространенностью отдельных составляющих ее элементов.

**Макрокомпоненты** – определяют химический тип воды, ее общую минерализацию  $M$  (сухой остаток) и название по общему химическому составу.

Основными макрокомпонентами являются наиболее распространенные в земной коре катионогенные (Ca, Mg, Na, K, Fe) и анионогенные (Cl, S, C, Si) элементы.

Накопление элементов определяется растворимостью соединений главных элементов.

Наиболее минерализованными ( $M$  до 760 г/л) являются сверхкрепкие хлоридные кальциевые рассолы, а наименее (<10) ультрапресные гидрокарбонатные кальциевые и гидросиликатные кальциевые воды.

**Микрокомпоненты** – содержатся в подземных водах, как правило, в незначительных количествах, определяемых мг, мкг и долями мкг в 1 л.

Общее число микрокомпонентов, извлекаемых из подземных вод в промышленных масштабах, составляет около 30. При гидрогеохимических поисках месторождений полезных ископаемых используют более 50 элементов.

Максимальное содержание микрокомпонентов в кислых и щелочных водах рудных месторождений может достигать граммовых количеств.

В кислых водах может содержаться до (г/л): Al – 13, As – 1.5, Co – 3.6, Cu – 45, Fe – 47, Ni – 30, Zn – 50.

В щелочных водах: Al – 1, F – 15, Si - 13.

# Органические вещества

В подземных водах содержится широкая гамма органических соединений. Компонентами органических веществ являются представители всех химических групп (углеводы, белки, липиды) и классов (карбоновые кислоты, углеводороды, спирты, альдегиды, кетоны, амины, эфиры), изучаемых в органической химии.

Важнейшие характеристики водорастворенных органических веществ – величина их общего количества и содержание химических элементов, входящих в состав индивидуальных органических соединений

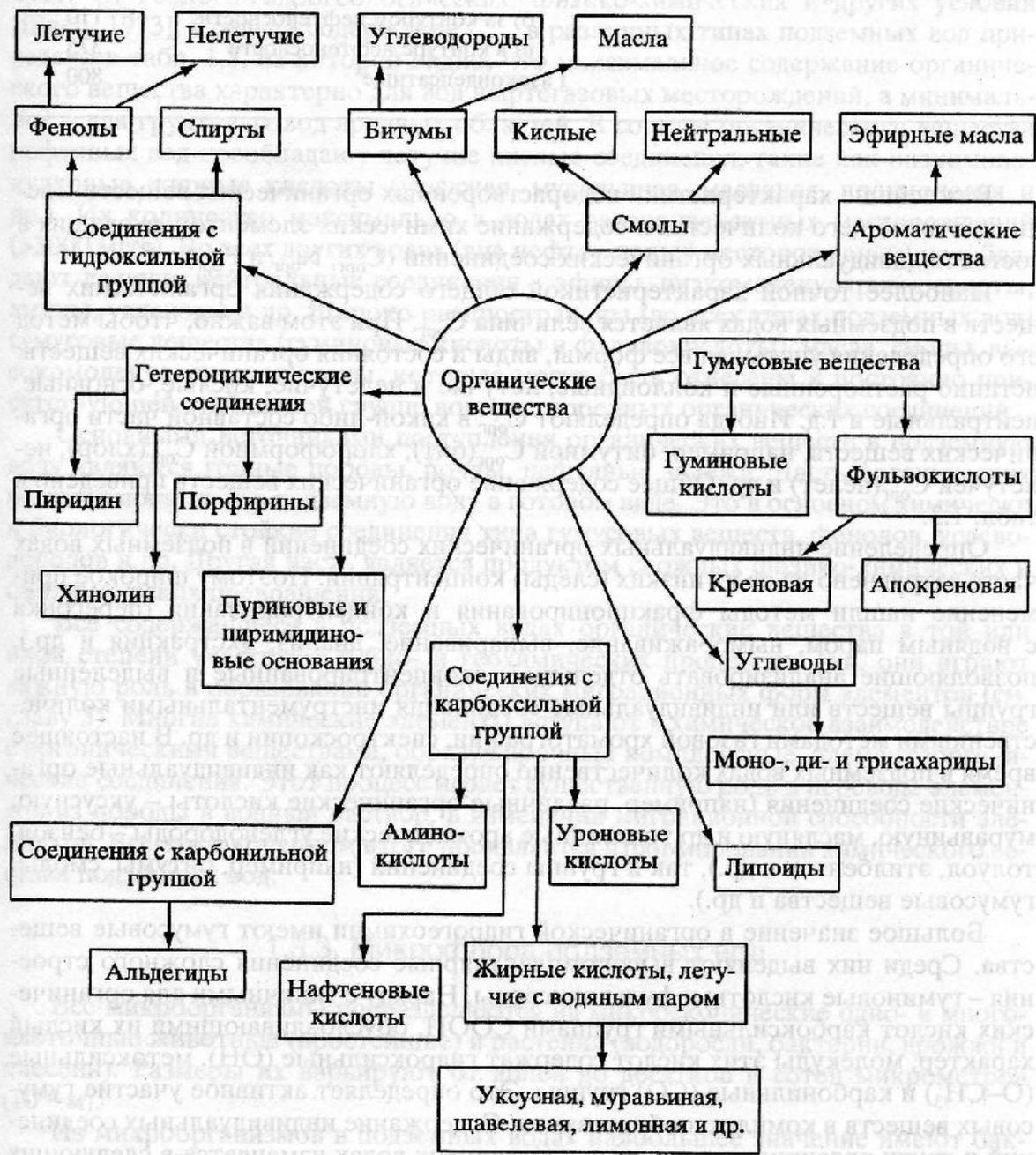


Рис. 1.11. Состав органических веществ, растворенных в подземных водах

Таблица 1.3

Среднее содержание  $C_{орг}$  (общ) в различных подземных водах [Швец, 1973]

Подземные воды	Области	Наличие и тип месторождений горючих ископаемых	$C_{орг}$ , мг/л
Грунтовые	Гумидные	Нет	35
	Аридные	— " —	25
	Ненефтегазоносные	»	40
Глубокие напорные	Нефтегазоносные	Газовые	35
		Нефтяные:	
		а) непродуктивные горизонты	60
		б) за контуром нефтеносности	110
		в) в контуре нефтеносности	375
Газоконденсатные	800		

# Микрофлора подземных вод

Все микроорганизмы подразделяются на микроскопические одно- и многоклеточные животные (простейшие) и растения (водоросли, бактерии, дрожжи и плесени). Размеры их варьируют от долей до десятков и сотен мкм. Наибольшее значение имеют бактерии (аэробные и анаэробные).

Аэробы развиваются при наличии свободного кислорода в воде, анаэробы – при его отсутствии. Они используют сульфаты, нитраты, углекислоту и другие кислородсодержащие вещества.

# Газы

- Газы и вода находятся в постоянном обмене. Различают сорбированные, растворенные и свободные газы.
- Основными газами подземных вод являются:  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $C_nH_{2n+2}$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ , He, Rn, Ne, Ar, Xe, Kr.

	I						VII	VIII		
1		II	III	IV	V	VI	H	He		
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg	Ar	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
7	Fr	Ra	Ac	Ku						

ЛАНТАНОИДЫ

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

АКТИНОИДЫ

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 1.12. Элементы, которые могут находиться в подземных водах в газовом состоянии (заштрихованы)

# Происхождение газов в подземной воде

- **воздушные** ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , Ne, Ar), проникающие в литосферу из атмосферного воздуха);
- **биохимические** ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ , ТУ – тяжелые углеводороды), образующиеся при разложении микроорганизмами органических и минеральных веществ;
- **химические** ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ), образующиеся в результате взаимодействия воды и породы при нормальных и высоких давлении и температуре;

# Выражение химического состава

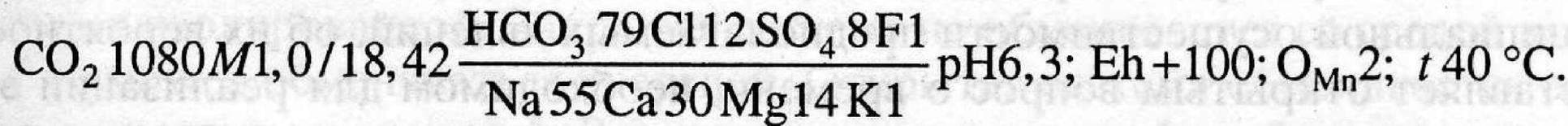
## ВОДЫ

- Формула М.Г. Курлова (1921г.),
  - «Опыт классификации сибирских целебных минеральных вод»
- вариант И.Ю. Соколова (1970г.):
- в левой стороне формулы записывается (в мг/л) содержание газов, а затем микрокомпонентов, если их количество превышает нормы для отнесения подземных вод к минеральным или представляет геохимический интерес;
- далее записывается минерализация воды (М) в виде дроби: в числителе – в весовой форме (с точностью до одного десятичного знака), в знаменателе – в эквивалентной форме;



# Выражение химического состава воды

- в псевдодробь записываются в нисходящем порядке все катионы (в знаменателе) и анионы (в числителе), содержание которых составляет более 1 экв. % (с точностью до целых процентов);
- справа от формулы записывают показатели, характеризующие состояние воды: pH, Eh, T, перманганатная окисляемость в мг О/л. Для сильноминерализованных вод и рассолов в конце формулы проставляют плотность воды.



# Выражение химического состава ВОДЫ

- **Грамм-эквивалент** - масса вещества в граммах, умноженную на молярную массу вещества.
- **Процент-эквивалент** - вычисляется путём деления грамм-эквивалента вещества на сумму всех грамм-эквивалентов веществ смеси (в данном случае - анионов или катионов) и

ум

Fe32	CO <sub>2</sub> 4.8	M1.06	Cl 38	SO <sub>4</sub> 36	HCO <sub>3</sub> 26	pH6.9	T10	D3
			<hr/>					
			Mg60	(Na+K)27	Ca13			

- Формула читается: гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная кальциево-натриево-

$$SGM \frac{A_{\max} A_{\text{med}} A_{\min}}{C_{\max} C_{\text{med}} C_{\min}} \text{ pH TD}$$

**Формула солевого состава** - формула Курлова, где указываются ионы, содержание которых более 5-10 %-экв.

**S** - нерастворимые примеси типа Fe и т.д.

**G** - газы (например, CO<sub>2</sub>).

**M** - минерализация - миллиграмм/литр.

**A** - содержащиеся в воде анионы, расположенные в убывающем порядке по значению процент-эквивалента (%-экв).

В общей сумме должно быть 100 %-экв анионов.

**C** - содержащиеся в воде катионы, расположенные в убывающем порядке по значению процент-эквивалента (%-экв).

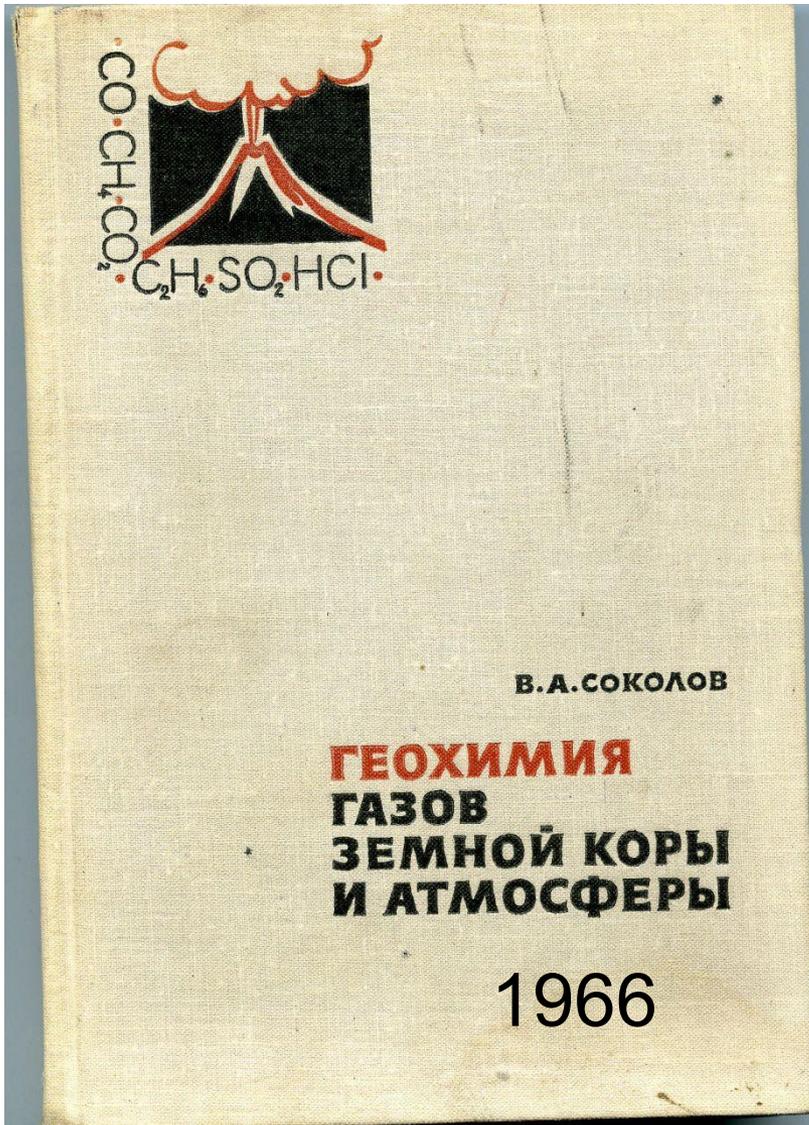
В общей сумме должно быть 100 %-экв анионов.

**pH** - кислотность (от 1-НСl до 12- КОН).

**T** - температура воды в °C.

**D** - дебит источника (м<sup>3</sup>/сутки).

# ГЕОХИМИЯ АТМОСФЕРЫ



# Классификации природных газов

- Газы атмосферы
- Газы гидросферы
- Газы литосферы (растворенные в воде и свободные, сорбированные минералами и органическими веществами).

- Атмосфера – газовая оболочка Земли мощностью 20 тыс. км и массой около  $10^{15}$  т.
- Азот – 75.5%, кислород – 23.1%, аргон – 1.28%, углекислый газ – 0.04%, инертные газы.
- Считается, что кислородная атмосфера и гидросфера сформировались 2.6-2.4 млрд. лет назад. Содержание кислорода тогда составляло примерно 0.2% от настоящего.
- Примерно 1 млрд. лет назад содержание  $O_2$  было 1% от современного, в начале палеозоя – 10%, 50 млн. лет назад – современный уровень.

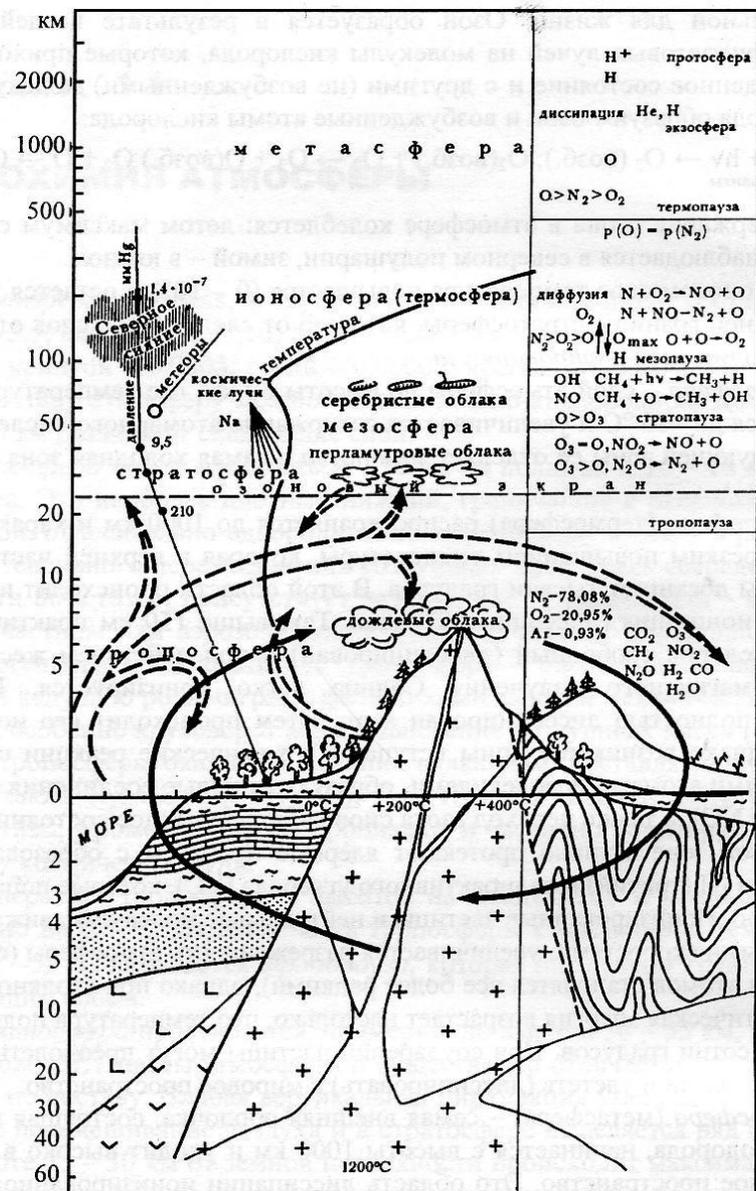


Рис. 57. Строение атмосферы. Стрелками показан круговорот воды (А.И. Перельман)

- Тропосфера (высота 8-18км). 80% массы газовой оболочки Земли. Граница  $-55^{\circ}C$ .
- стратосфера (до 50 км). На высоте 30 км – озоновый слой
- мезосфера (50-80 км)
- ионосфера (~1000 км). Резкое повышение Т.
- экзосфера.

- Древняя газовая оболочка Земли была маломощной и состояла из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , возможно  $\text{CH}_4$  и др. газов.
- Современная атмосфера возникла вторично, с появлением на Земле свободного кислорода в результате фотосинтетической деятельности растений. После этого продукты вулканической эксгаляций  $\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др. были окислены, выбыли из атмосферы и осталась современная азотно-кислородная оболочка Земли.
- Из пород Земли в атмосферу при действии вулканов выделяются лёгкие газы  $\text{He}^4$ ,  $\text{He}^3$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{D}$  ("гелиевое дыхание"), которые не удерживаются гравитационным полем Земли и рассеиваются в космическое пространство.

- Источником  $\text{CO}_2$  (а также следов  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$  и др.) являются тоже вулканы.
- На содержание в атмосфере  $\text{CO}_2$  оказывает влияние океан, поглощающий  $\text{CO}_2$  в холодных широтах и освобождающий  $\text{CO}_2$  на экваторе.
- Изотоп аргона  $^{40}\text{Ar}$  накапливается в атмосфере в результате ядерного превращения  $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ .  $\text{Ne}$ ,  $\text{Kr}$ ,  $\text{Xe}$  - первичного происхождения.
- Атмосфера играет огромную роль в качестве транспортёра многих легколетучих соединений, галогенидов, органических веществ и т. п.
- Газы атмосферы участвуют в геохимическом выветривании горных пород, например  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ .

- Азот фиксируется синезелёными водорослями и некоторыми др. растениями. После их гибели в результате метаморфизма их остатков образуется калийная селитра.
- Подземные атмосферы, заполняющие пористые породы, имеют разнообразный состав и образуются различными путями.
- Атмосферные газы могут быть захвачены осадочными породами. В этом случае для них характерно содержание  $^{40}\text{Ar}$  по отношению к  $\text{N}_2$  около 1%. Азотные струи без  $^{40}\text{Ar}$  — результат метаморфизма органического вещества (биогенные газы). Известны подземные атмосферы из  $\text{CO}_2$ , а также струи  $\text{CO}$  в районах вулканической деятельности, нефтяные газы  $\text{CH}_4$  и др. углеводороды в нефтеносных областях, сероводород, радиогенные газы —  $\text{He}$ ,  $\text{Rn}$  и др.

# По составу более 20 схем классификации

Таблица 1

Классификация природных газов

Типы газов	Химический состав			Происхождение газа
	основные компоненты	компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	микрокомпоненты	
I. Атмосфера	$N_2$ , $O_2$ , Ar, $CO_2$	—	$O_3$ , $NO_2$ , $N_2O$ , $H_2$ , благородные газы	Смесь газов химического, биохимического и радиогенного происхождения
II. Газы земной поверхности и субаквальных отложений: почвы и подпочвы	$CO_2$ , $N_2$ , $O_2$ и другие газы атмосферы	—	$CH_4$ , $N_2O$ , CO, $H_2$ , $H_2S$ , $NH_3$ , летучие органические вещества, благородные газы (из воздуха)	Газы преимущественного биохимического происхождения с примесью других газов. Газообмен с атмосферой приводит к тому, что основной образующийся в почве газ и другие газы примешаны к воздуху
болотные, торфяные	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2$	—	$H_2$ , CO, $N_2O$ , $NH_3$ , $H_2S$ , летучие органические вещества, благородные газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения с примесью других газов. Воздух присутствует иногда. Азот, присутствующий в газах, является в большей своей части воздушным

Типы газов	Химический состав			Происхождение газа
	основные компоненты	компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	микрокомпоненты	
морских субаквальных осадков	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub>	—	H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, летучие органические вещества, благородные газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения. В газах глубоководных осадков, согласно отдельным анализам, основными компонентами являются CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> и N <sub>2</sub>
III. Газы осадочных пород: нефтяных месторождений газовых месторождений угольных месторождений соленосных отложений рассеянные	CH <sub>4</sub> , Т. У. <sup>1</sup> CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, He, Ar Т. У. N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, He, Ar CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S, Т. У. H <sub>2</sub> , Т. У., H <sub>2</sub> S, N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , благородные газы H <sub>2</sub> , благородные газы Т. У., H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> Благородные газы Благородные газы Благородные газы	Газы преимущественно химического происхождения, с примесью газов биохимического и иного происхождения. На значительных глубинах, где вследствие повышения температуры нормальная деятельность микроорганизмов прекращается, биохимические газы отсутствуют

Типы газов	Химический состав			Происхождение газа
	основные компоненты	компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	микрокомпоненты	
IV. Газы метаморфических пород	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, Т. У.	Благородные газы	Газы химического происхождения с примесью газов радиационно-химического и радиогенного происхождения
V. Газы гранитной и базальтовой оболочек	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, HF	CH <sub>4</sub> , благородные газы	То же
VI. Вулканические газы: магматические (из лавовых озер)  фумарольные	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> , HCl, HF  CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>	CO, N <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>  CO, HCl, HF N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , благородные газы  CH <sub>4</sub> , благородные газы	Газы химического происхождения с примесью газов радиационно-химического и радиогенного происхождения Вулканические газы представляют собой в той или иной степени измененные газы верхней мантии

<sup>1</sup> Т. У. — тяжелые газообразные углеводороды.

Таблица 23

Газы, образующиеся в морских осадках (по Дж. Ханту)

Зона	Реакция	Продукт
Аэробная	$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Углекислый газ
	$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$	
Анаэробная	$\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Водород
Восстановления сульфатов	$4\text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	Сероводород
Восстановления $\text{CO}_2$	$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	Метан
Присоединения азота	$3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$	Аммиак
Восстановления нитратов	$10\text{H}_2 + 4\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	Азот

## Классификация растворенных в пластовых водах газов по их составу (по Л. М. Зорькину)

Класс газа	Тип газа	Содержание компонентов
Углеводородный (метановый) $C_nH_m \geq 50\%$	Метановый	$75 \geq C_nH_m \geq 50$ ; $N_2 \leq 25$ ; $CO_2 + H_2S \leq 25$
	Азотно-метановый	$C_nH_m \geq 50$ ; $50 \geq N_2 \geq 25$ ; $CO_2 + H_2S \leq 25$
	Углекисло-метановый	$75 \geq C_nH_m \geq 50$ до 75; $50 \geq (CO_2 + H_2S) \geq 25$ ; $N_2 \leq 25$
Азотный $N_2 \geq 50\%$	Азотный	$N_2 \geq 75$ ; $C_nH_m \leq 25$ ; $CO_2 + H_2S \leq 25$
	Метано-азотный	$75 \geq N_2 \geq 50$ ; $50 \geq C_nH_m \geq 25$ ; $CO_2 + H_2S \leq 25$
	Углекисло-азотный	$75 \geq N_2 \geq 50$ ; $50 \geq (CO_2 + H_2S) \geq 25$ ; $CH_4 \leq 25$
Углекислый $CO_2 + H_2S \geq 50\%$	Углекислый	$CO_2 + H_2S \geq 75$ ; $C_nH_m \leq 25$ ; $N_2 \leq 25$
	Азотно-углекислый	$75 \geq (CO_2 + H_2S) \geq 50$ ; $50 \geq N_2 \geq 25$ ; $C_nH_m \leq 25$
Углекисло-азотно-метановый	Метано-углекислый	$75 \geq (CO_2 + H_2S) \geq 50$ ; $50 \geq C_nH_m \geq 25$ ; $N_2 \leq 25$
	Углекисло-азотно-метановый	$C_nH_m \leq 50$ ; $N_2 \geq 25$ ; $CO_2 + H_2S \geq 25$
	Метано-азотно-углекислый	$N_2 \leq 50$ ; $CO_2 + H_2S \geq 25$ ; $C_nH_m \geq 25$
	Метано-азотно-углекислый	$CO_2 + H_2S \leq 50$ ; $C_nH_m \geq 25$ ; $N_2 \geq 25$

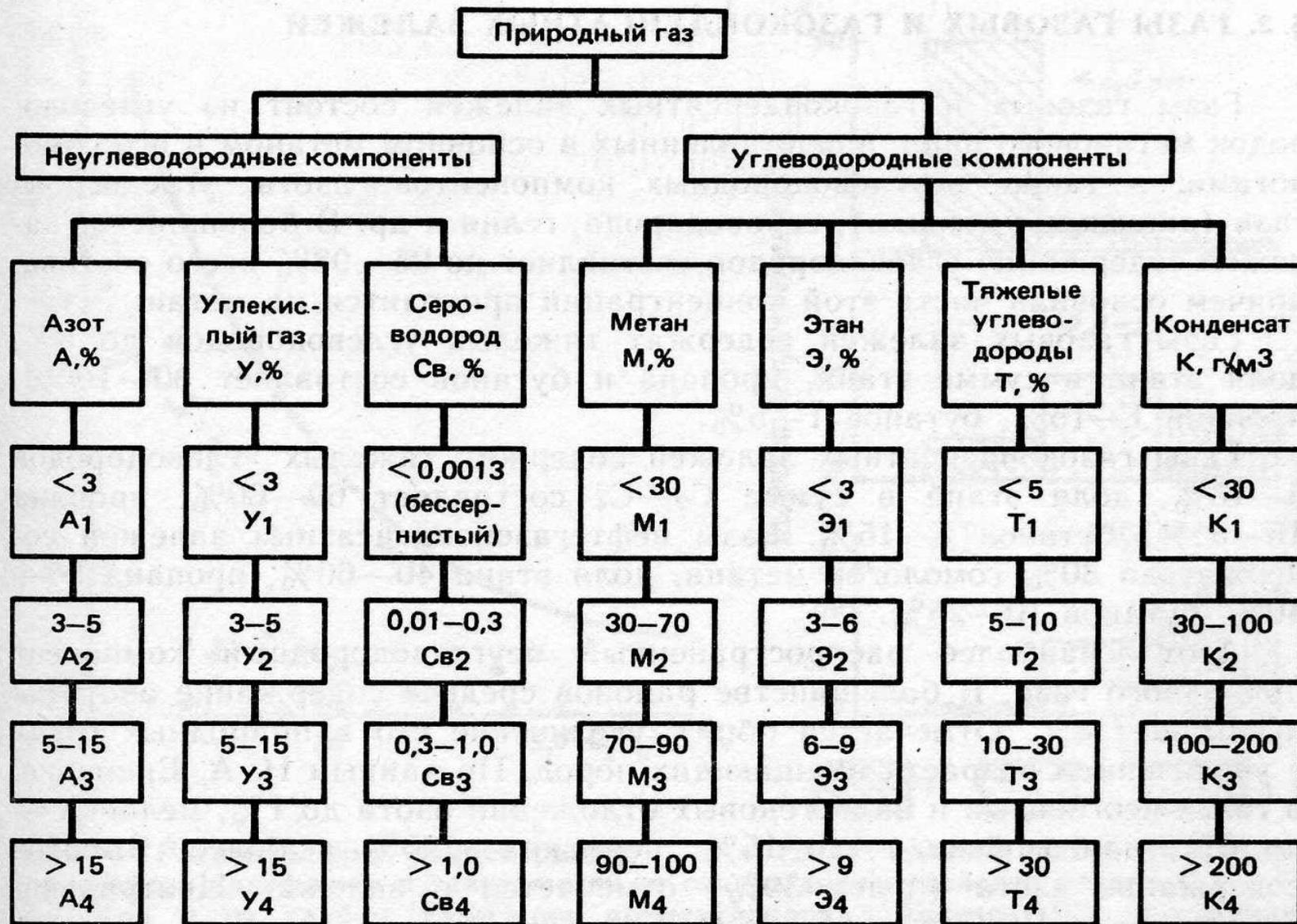


Рис. 16. Классификация и индексация природных газов по содержанию полезных компонентов (составил В. И. Старосельский)

# Газовые проявления

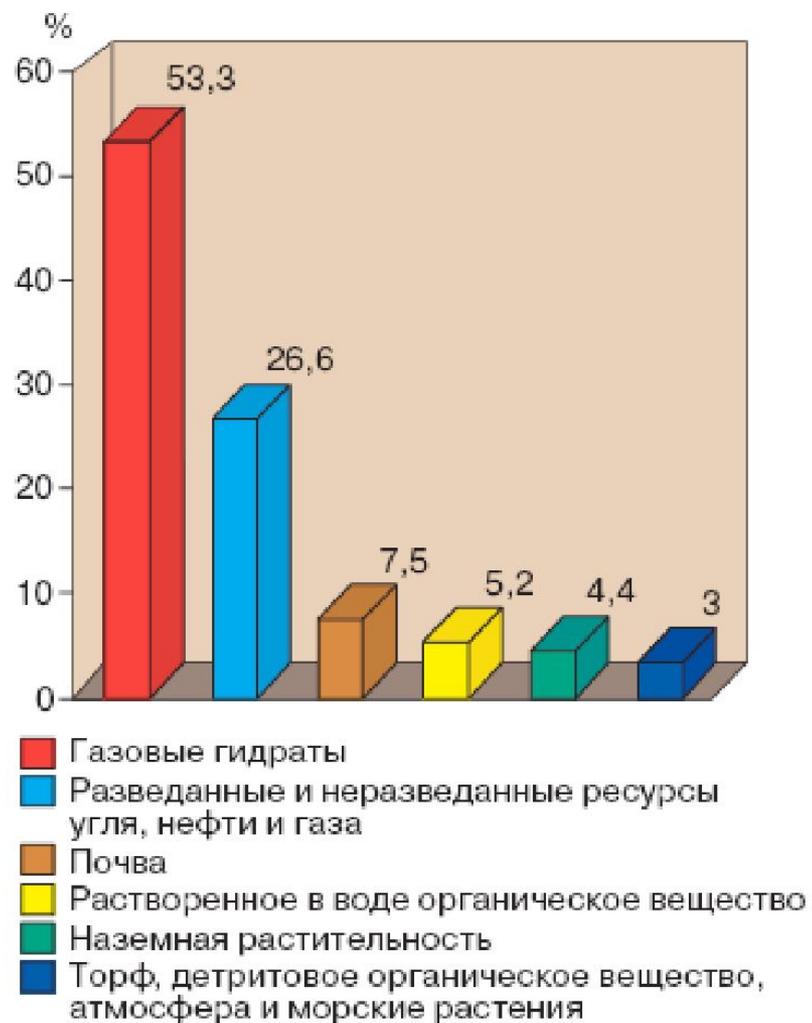
- Вулканические газы по качеств. составу и T условно подразделяются на:
- галогенокислотные (высоко-T фумаролы);
- сернистые (средне-T сольфатары);
- углекислые (низко-T мофеты).



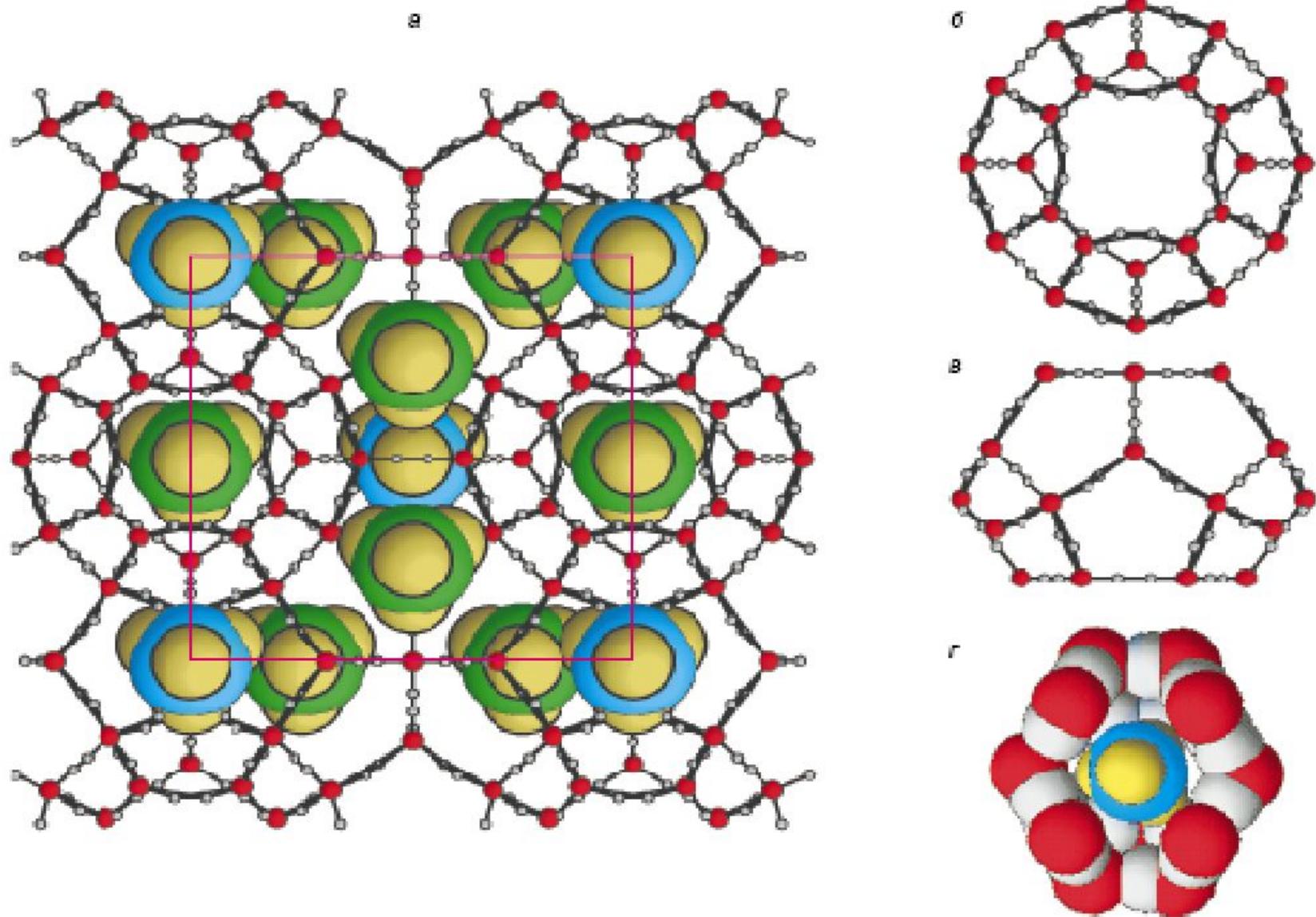
# ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ

- **Гидраты природных газов** — газовые гидраты или клатраты — кристаллические соединения, образующиеся при определённых термобарических условиях из воды и газа. Имя клатраты, от латинского «clathratus», что значит «сажать в клетку», было дано Пауэллом в 1948.
- Гидраты газа относятся к нестехиометрическим соединениям, то есть соединениям переменного состава. Впервые газовые гидраты были описаны в 1810 году. К 1888 году получают гидраты  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,

- В 1940-е годы советские учёные высказывают гипотезу о наличии залежей газовых гидратов в зоне вечной мерзлоты.
- В 1960-е годы они же обнаруживают первые месторождения газовых гидратов на севере СССР. С этого момента газовые гидраты начинают рассматриваться как потенциальный источник топлива.
- Постепенно выясняется их широкое распространение в океанах и нестабильность при повышении температуры. Сейчас природные газовые гидраты привлекают особое внимание как возможный источник ископаемого топлива, а также участник изменений климата.



**Рис. 3.** Распределение органического углерода на Земле (исключая рассеянный в виде битума и керогена) [6]



**Рис. 5.** а – структурный фрагмент КС-1 с молекулами метана в D- (голубого цвета) и T-полостях (зеленого цвета) (на рисунке выделена элементарная ячейка); б – и в – T-полость (вид сверху и вид сбоку); г – D-полость с включенной молекулой метана в ван-дер-ваальсовых очертаниях хозяйской и гостевой подсистем

# Гидрат метана – газовое топливо будущего

- По прогнозам экспертов ExxonMobil, потребление энергоресурсов в ближайшие 30 лет на планете возрастет наполовину.
- Так как продуктивность известных месторождений углеводородов снижается, новые крупные месторождения открываются все реже, а использование угля наносит ущерб экологии.
- Однако скудеющие запасы обычных углеводородов можно компенсировать.

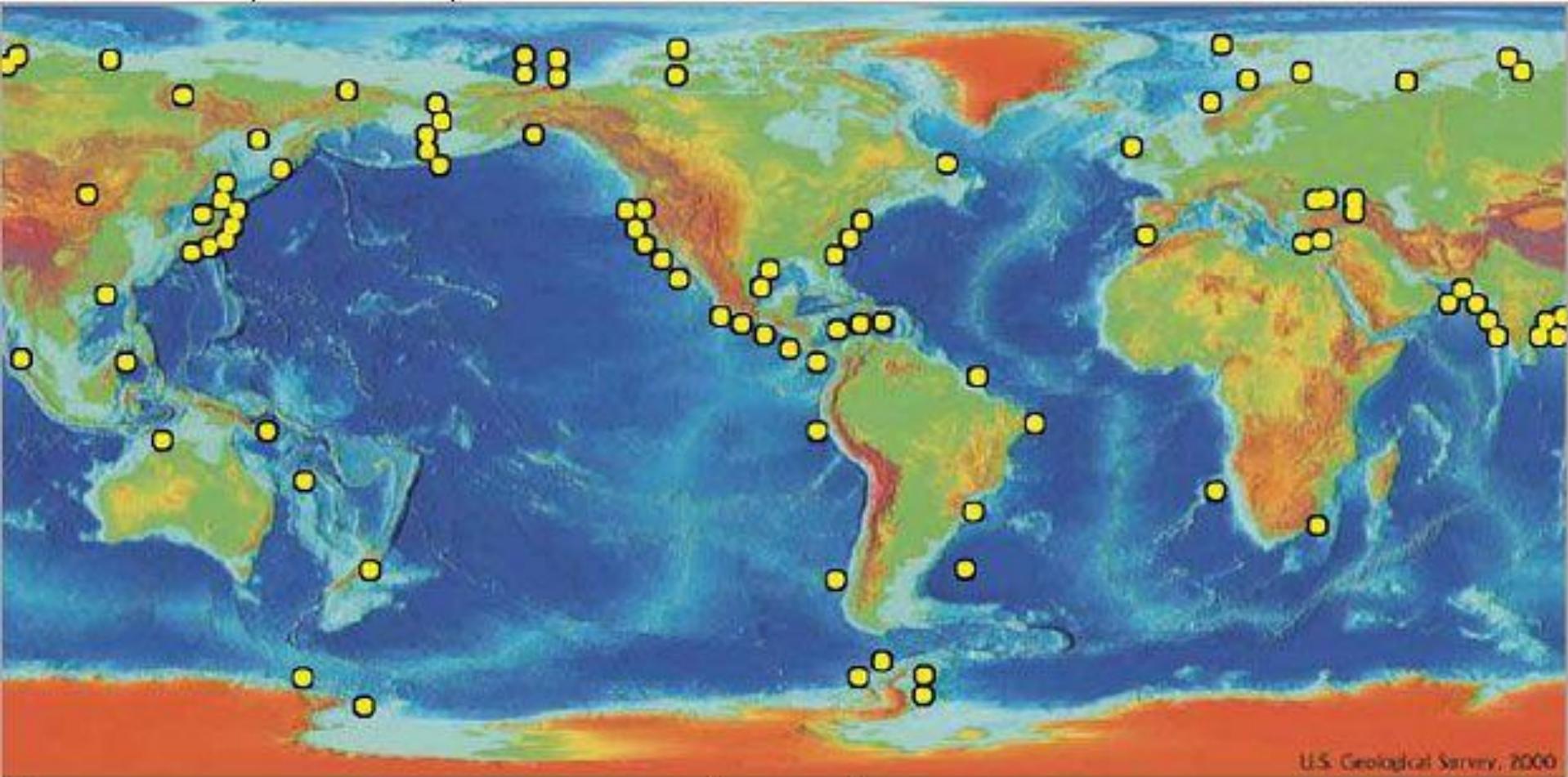
- **Во-первых**, технологии добычи нефти и газа развиваются.
- *Сегодня в Мексиканском заливе, например, нефть добывают с глубины 2.5-3 км под поверхностью воды, такие глубины были немыслимы 15 лет назад.*
- **Во-вторых**, развиваются технологии переработки сложных видов углеводородов (тяжелых и высокосернистых нефтей) и нефтяных суррогатов (битумы, нефтяные пески). Это позволяет возвращаться к традиционным районам добычи и возобновлять на них работу, а также начинать добычу в новых районах.
- *Например, в Татарстане, при поддержке компании Shell, начинается добыча, так называемой «тяжелой нефти». В Кузбассе разрабатываются проекты по добыче метана из угольных пластов.*

- **Третье** направление поддержания уровня добычи углеводородов связано с поиском путей использования нетрадиционных их видов.
- *Среди перспективных новых видов углеводородного сырья ученые выделяют гидрат метана, запасы которого на планете, по ориентировочным оценкам, составляют не менее 250 триллионов кубических метров (по энергетической ценности это в 2 раза больше ценности всех имеющихся на планете запасов нефти, угля и газа вместе взятых).*

- **Гидрат метана это супрамолекулярное соединение метана с водой.** Вокруг молекулы метана образуется решетка молекул воды (льда). Соединение устойчиво при низкой температуре и повышенном давлении.
- Например, гидрат метана стабилен при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении порядка 25 бар и выше. Такое давление имеет место на глубине океана около 250 м. При атмосферном давлении гидрат метана сохраняет устойчивость при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$ . Если гидрат метана нагревается, либо повышается давление, соединение распадается на воду и природный газ (метан).
- **Из одного кубического метра гидрата метана при нормальном атмосферном давлении**



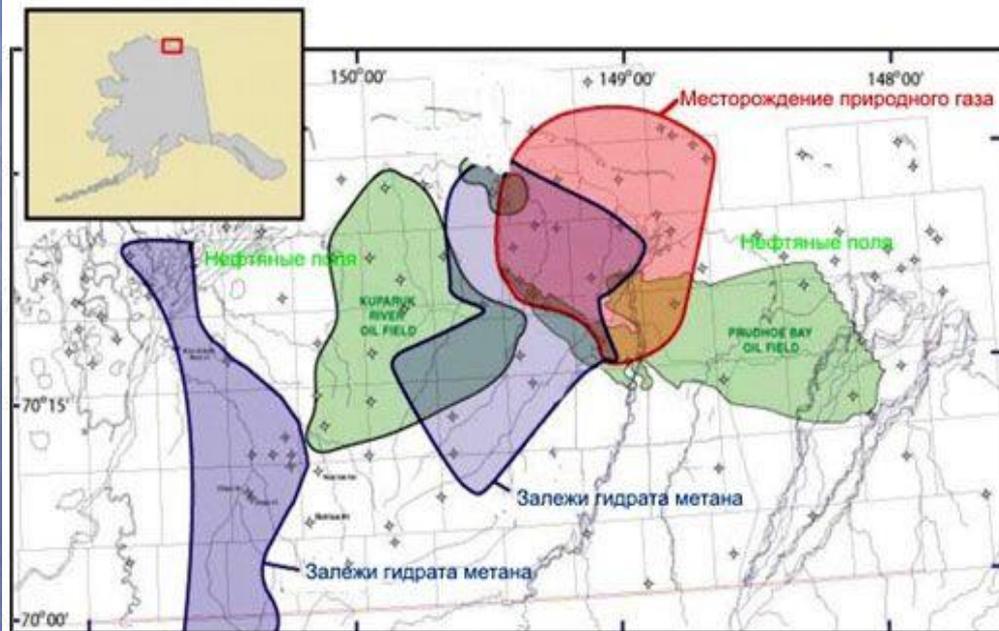
Схема образования гидрата метана



*Известные и перспективные месторождения гидрата метана на планете*

- Глубина залежей гидрата метана может достигать нескольких сотен метров. Основные районы его залежей находятся в зонах вечной мерзлоты на суше и возле океанского дна во многих районах мира.

Карта месторождения нефти, газа и гидрата метана на Северном побережье Аляски



На снимке : опытная установка по добыче гидрата метана на Аляске



На снимке : холм из гидрата метана на морском дне в Мексиканском заливе



РОССИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
ДОМ УЧЕНЫХ

*Сколько б ни было в мире разлук,  
В тот дом я привикну приходит!*



92 сезон

ПРЕЧИСТЕНКА  
16  
УЛИЦА

*И.Г. Печенкин*

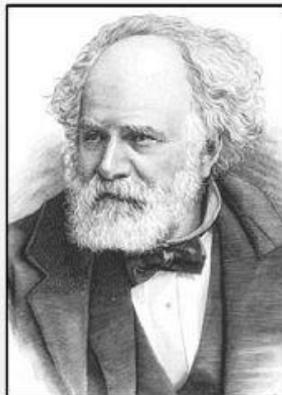
*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского*

# “ГЕЛИЕВОЕ ДЫХАНИЕ ЗЕМЛИ” – ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

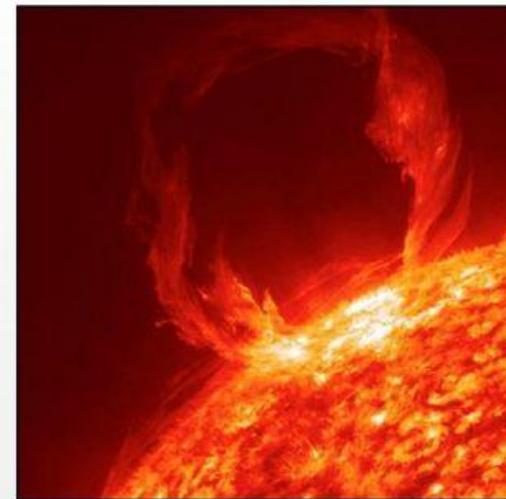
# ГЕЛИЙ - ДИТЯ СОЛНЦА



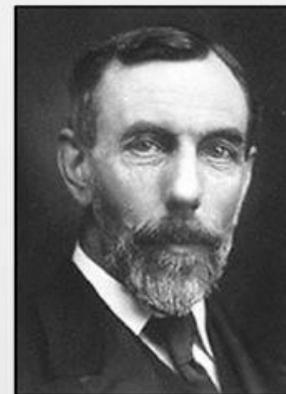
Джозеф Норман Локьер  
*Joseph Norman Lockyer*  
(1836-1920)



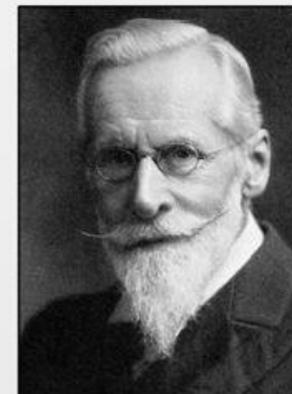
Пьер Жюль Сезар Жансен  
*Pierre Jules César Janssen*  
(1824-1907)



- **18.08.1868** – во время солнечного затмения *Н.Локьер* и *Ж.Жансен*, проведя спектральный анализ солнечных протуберанцев, пришли к выводу, что ярко желтый цвет в спектре – это какой-то новый элемент, образовавшийся в результате солнечных вспышек.
- **1895** – *У. Рамзай* наблюдая спектр излучения газов, выделившихся из клевеита (разновидность уранинита) обнаружил желтую линию гелия.
- **1895** – *У. Крукс* впервые выделил гелий в лабораторных условиях.



Уильям Рамзай  
*Sir William Ramsay*  
(1852-1916)



Уильям Крукс  
*Sir William Crookes*  
(1832-1919)

# ПЕРВЫЕ ШАГИ



Гамильтон Перкинс Кэди  
*Hamilton Perkins Cady*  
(1874–1943)



Дэвид Форд Макфарленд  
*David Ford McFarland*  
(1878–1955)



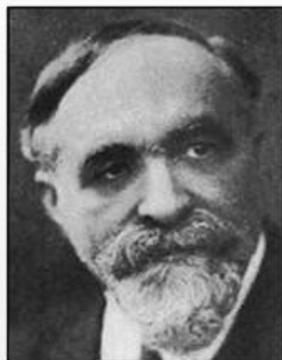
*Бэйли холл*

*Бэйли холл.* 7 декабря 1905 года, Г.П. Кэди и Д.Ф. Макфарленд обнаружили значительное количество гелия в образце природного газа из Декстера (штат Канзас, США).



Эрасмус Хейворт  
*Erasmus Haworth*  
(1855–1932)

# ПЕРВЫЙ ГЕЛИЕВЫЙ БУМ



Шарль Мурё  
Charles Moireu  
(1863-1929)



Гелий стал доступен, но почти 10 лет весь его американский запас хранился в трех запаянных стеклянных емкостях покрытых пылью в лаборатории Бэйли холл.

В 1917 г. а США начались широкомасштабные работы по получению гелия в военных целях.



Бейли холл. Лаборатория (1916)

Преподаватели Магг, К. Сайбел, старший преподаватель П. Фэйрджэ (в белых куртках) и профессор Г. Кэди (на переднем плане) в аудитории 113, где изучался гелий.

# «ПОБОЧНЫЙ ЭФФЕКТ»



Хейке Камерлинг-Оннес  
*Heike Kamerlingh Onnes*  
(1853-1926)



Петр Леонидович  
Капица  
(1894-1984)

**1908** - впервые сумел получить жидкий гелий и достичь рекордно низкой на тот момент температуры 0,9 К.

**1911** - впервые наблюдал резкое падение электрического сопротивления ртути при температуре ниже 4,1 К. Это явление получило название сверхпроводимости.

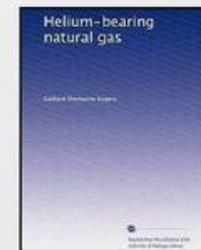
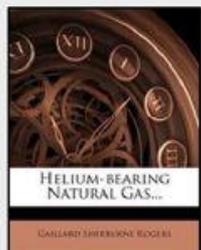
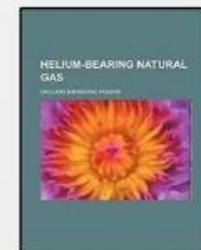
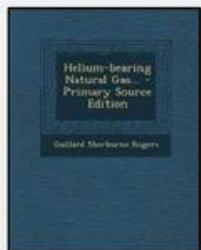
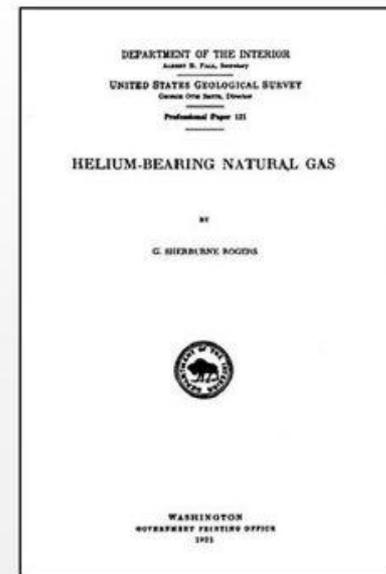
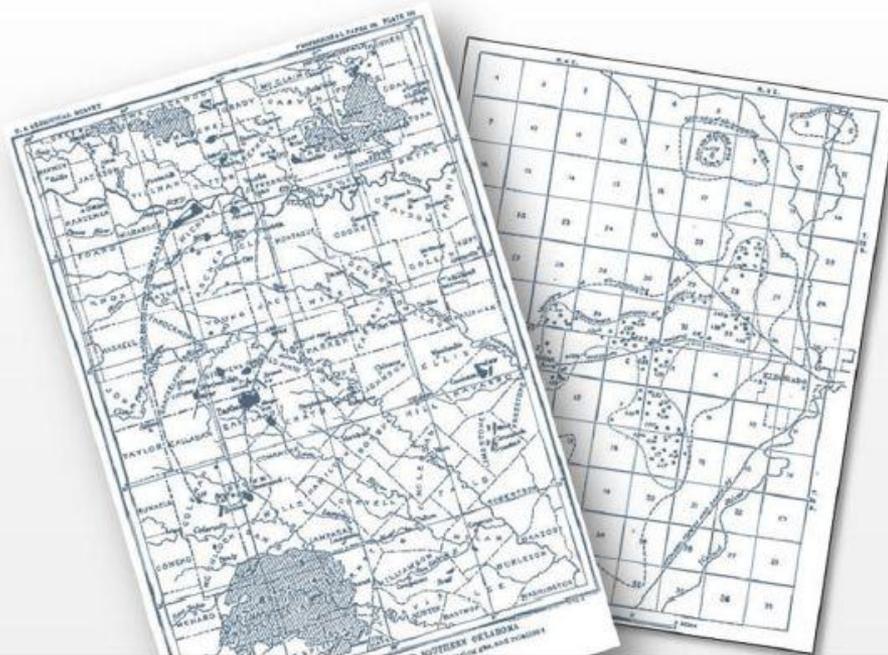
**1912** - впервые обнаружил явление сверхтекучести жидкого гелия.

**1913** - Камерлинг-Оннес удостоен нобелевской премии по физике «за исследования свойств вещества при низких температурах, которые привели к производству жидкого гелия».

**1938** – П.Л. Капица открыл сверхтекучесть гелия-II. Исследования сверхтекучести расширили представления в частности о сверхпроводимость металлов.



Гайяр Шерберн Роджерс  
Gaillard Sherburne Rogers  
(1889 – 1919)



«Из всех гипотез, которые были рассмотрены наиболее убедительными являются следующие предположения: 1) гелий образуется из урана и тория, месторождения которых расположены вблизи горизонтов, заключающих в себе гелиеносный газ; 2) гелий существует искони и приходит из находящихся на глубине вместилиц...» (Г. Роджерс)

# ГАЗОВОЕ ДЫХАНИЕ ЗЕМЛИ

- **1911** – В.И. Вернадский выступил с обзорным докладом о результатах работ по изучению гелия на заседании Российской Императорской Академии Наук и призвал к аналогичным исследованиям в России. Финансирования не последовало.
- **1912** – В.И. Вернадский сделал доклад “Об изучении газового дыхания Земли”. Вновь в финансировании отказано.
- **1920-1930-е** – Владимир Иванович к проблеме гелия и газового дыхания Земли возвращался многократно в лекциях в МГУ, в публикациях “Минералогических записок” и др.

*«Корни всякого открытия лежат далеко в глубине, и как волны, бьющиеся с разбегу на берег, много раз плещется человеческая мысль около подготовляемого открытия, пока придет девятый вал»*

*В.И. Вернадский*



Владимир Иванович  
Вернадский  
(1863-1945)

# РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ



Виталий Григорьевич  
Хлопин  
(1890-1950)

1924-1933 — член Научно-технического совета по гелию при Гелиевом комитете ВСНХ; принимал активное участие в поисках и изучении гелиевых месторождений, в разработке аналитических методов определения гелия

1933 - член Научно-технического совета по гелию при Госплане СССР

1933-1938 - консультант лаборатории треста Союзгаз, позднее - Гелиогазразведки (Ленинград)

- Гелий представляет собой продукт полураспада радия - все работы по исследованию газовых месторождений были сосредоточены в Государственном радиевом институте.
- Сотрудниками Радиевого института, Комитета по гелию и некоторых других вновь созданных организаций (В.П.Савченко, Э.К.Герлингом, А.А.Черепенниковым) в 1920-1930-е г. были отобраны и проанализированы первые десятки проб.



В 1922 г. образовался Государственный Радиевый институт

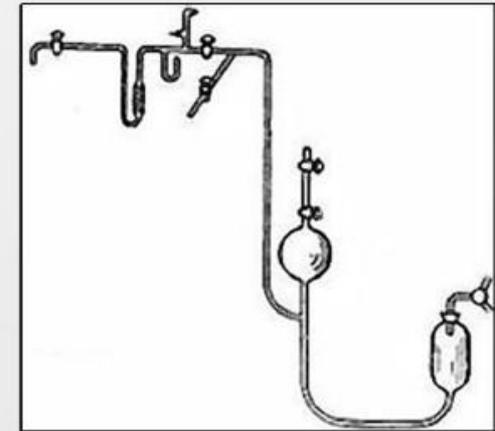


Схема прибора Хлопина - Лукашука

### Научный совет по гелию (1924)

- Газовый отдел КЕПС (В.И. Вернадский, позднее В.Г. Хлопин)
- Лаборатория Высшей воздухоплавательной школы РККА (А.Г. Воробьев)
- Лаборатория при секции неметаллических ископаемых Геолкома (А.С. Кобзева)

### 1925

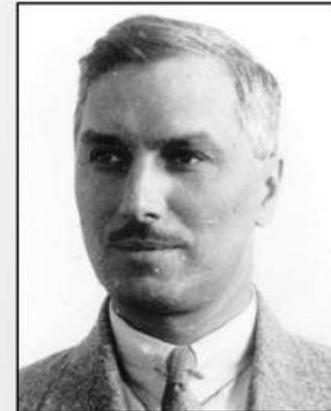
- Создается Комиссия по добыче гелия и других благородных газов при Главном экономическом управлении ВСНХ СССР (Гелиевая комиссия, с октября 1925 г. – Гелиевый комитет) (В.И. Глебова, Н.М. Федоровский, И.В. Покровский, Б.Н. Воробьев и др.)
- Научный совет переходит в ведение Гелиевой комиссии и преобразовывался в Научно-технический совет по редким газам (Председатель – А.Е. Ферсман).
- В 1929–1931 гг. в системе советской геологии проведены преобразования. В объединении «Союзгеоразведка» создано Газовое бюро.
- 1 октября 1933 г. Газовое бюро, переведено в «Союзгаз» и получило название «Гелиогазразведка».
- В 1934–1935 гг. геологоразведочные работы на гелиеносные газы разворачивались районах Мельниково, Дагестане, Кубани и др.
- В дальнейшем происходит снижение активности геологоразведочных работ.

## Первое Всесоюзное совещание по редким элементам

(27-30 апреля 1925 г., Москва)



Вера Ильинична  
Глебова  
(1885–1935)



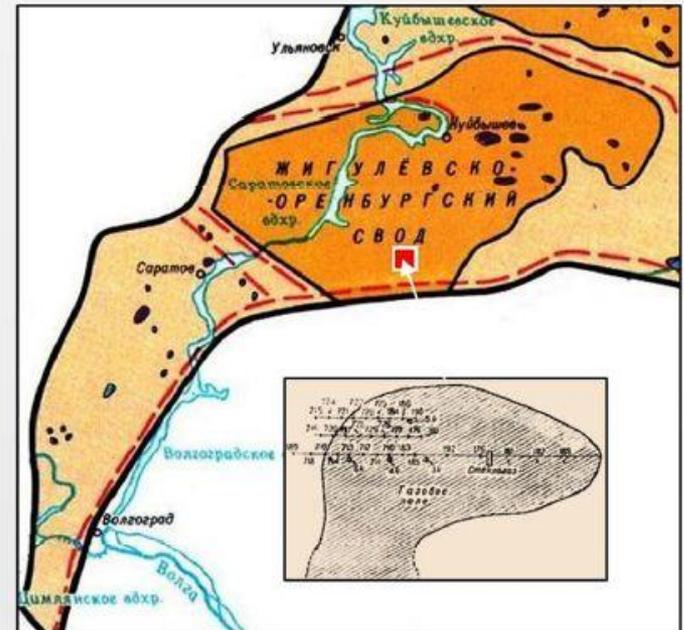
Николай Михайлович  
Федоровский  
(1886–1956)

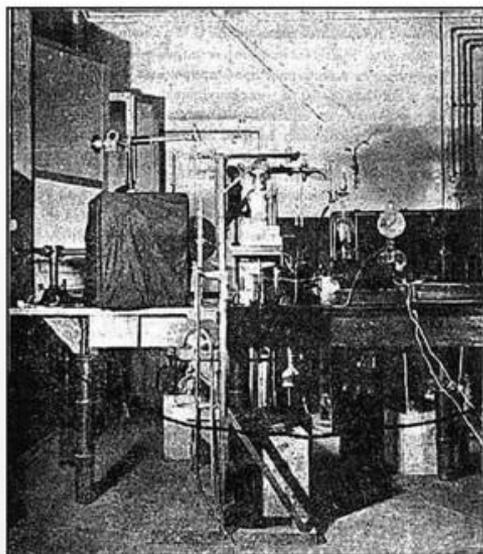


Александр Евгеньевич  
Ферсман  
(1883–1945)

# МЕЛЬНИКОВСКОЕ ГАЗОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

- **1906** – первый газовый фонтан
- **1911** – обнаружение гелия
- **1923-1924** – установлено его содержание (0,12 %)
- **1929** – в ЛФТИ получены первые литры советского гелия из природного газа этого объекта
- **1931** – строительство опытной гелиевой установки
- **1932** – получен 40 % концентрат, а затем 98 % гелий
- **1937** – пуск Государственного союзного опытно-промышленного завода
- **1941** – начало ликвидации завода в связи с истощением месторождения





Прибор для анализа благородных газов системы проф. А.Г. Хлопина-К.Герлинга

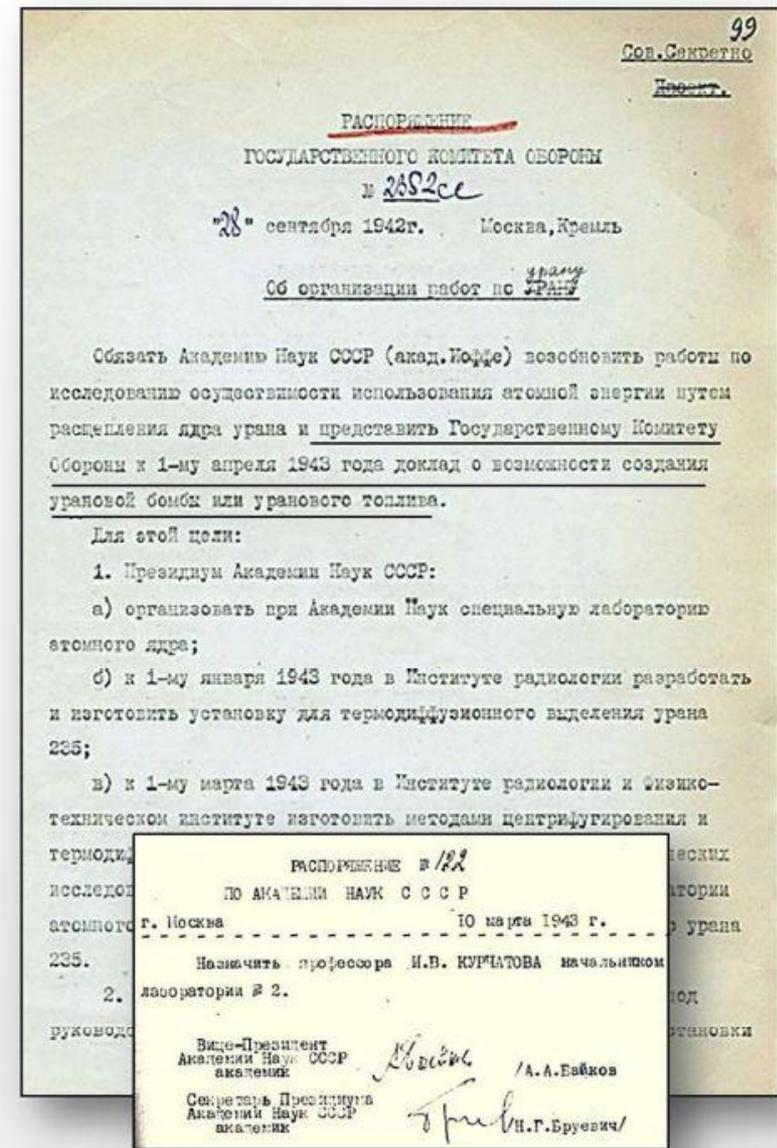


Эрих Карлович  
Герлинг  
(1904-1985)

После окончания Отечественной войны Эрик Карлович Герлинг по программе Радиевого института попытался вновь оценить «гелиевое дыхание» Земли на куполе Мельниковского газового месторождения (1945-1947). Пробы газа отбирались из-под металлических колпаков и из герметизированных шпуров. Анализ гелия производился используемым с начала века «остаточным» химическим объёмным методом, обладающим недостаточной для этих целей точностью. Значимого результата эти исследования не дали.

# АТОМНЫЙ ПРОЕКТ. ГОНКА НАЧАЛАСЬ

- **Январь 1940.** Старт германского атомного проекта – **"Урановый проект"**
- **30 июля 1940.** Решением Президиума АН СССР создается Комиссия по проблеме урана. В неё входят 14 человек: десять академиков - Хлопин, Вернадский, Иоффе, Ферсман, Вавилов, Лазарев, Фрумкин, Мандельштам, Кржижановский, Капица, три старших научных сотрудника - Курчатов, Щербаков, Харитон и профессор Виноградов
- **Май 1941.** Старт японского атомного проекта – **"Проект Ну"**
- **Сентябрь 1941.** Старт атомного проекта Великобритании – **"Тьюб эллойз"**
- **6 декабря 1941.** Старт атомного проекта США – **"Манхэттенский проект"**
- **28 сентября 1942.** Распоряжение ГКО № 2352 «Об организации работ по урану»
- **Август 1943.** Объединение атомных проектов США и Великобритании
- **16 июля 1945.** Первое испытание атомного оружия в США



# ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ОБОРОНЫ

## РАСПОРЯЖЕНИЕ № 3834 СС

30 ИЮЛЯ 1943 Г.

МОСКВА, КРЕМЛЬ

- 1. Обязать Комитет по делам геологии при Совете Народных Комиссаров СССР (И. И. Малышев):
  - а) провести в полевой период 1943 г. дополнительные поисково-разведочные работы на уран и другие радиоактивные элементы,
  - б) организовать в 1943 г. проверку на радиоактивность образцов пород и руд в районах работ геологоразведочных партий и ранее собранных геологических коллекций, хранящихся в музеях и геологических управлениях,
  - в) составить и издать краткие инструкции по установлению признаков уранового оруденения и обнаружению месторождений урановых руд,
  - г) составить к 1 октября 1943 г. совместно с Геологическим институтом АН СССР план геологических поисковых работ на 1944 г. с целью отыскания новых месторождений урановых руд.
- 2. Разрешить Комитету по делам геологии при Совнаркоме СССР организовать при Всесоюзном институте минерального сырья (ВИМС) урановый сектор, возложив на него обобщение материалов по поискам, разведкам и изучению радиоактивного минерального сырья, а также научно-методическое руководство этими работами и детальное минералогическое и технологическое изучение урановых руд и других радиоактивных минералов.
- 3. Утвердить штат уранового сектора при ВИМСе в количестве 15 человек.
- 4. Обязать Наркомфин выделить в 1943 г. Комитету по делам геологии при СНК СССР ... 150 тыс. руб. на расходы по урановому сектору при Всесоюзном институте минерального сырья.

Председатель  
СНК СССР

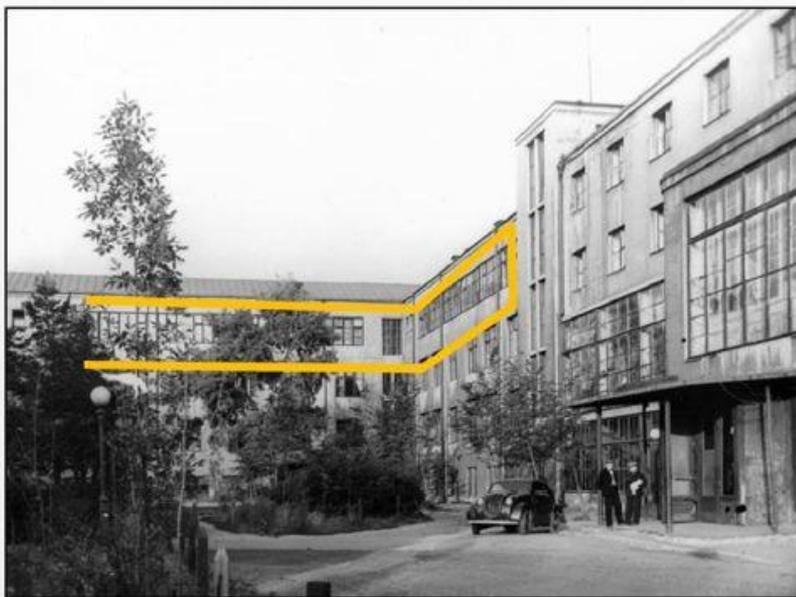


(В.М. Молотов)

# СЕКТОР № 6



Дмитрий Иванович  
Щербаков  
(1893-1966)

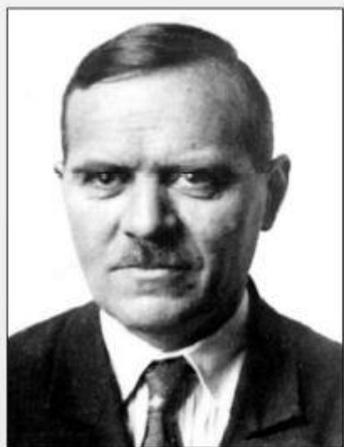
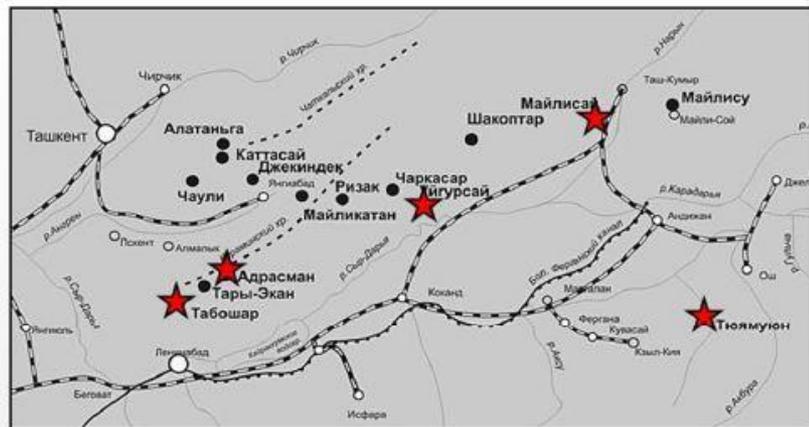


Михаил Николаевич  
Альтгаузен  
(1906-1994)

- Где конкретно искать и как искать уран на первых порах должен был решать урановый сектор ВИМСа.
- Его первым научным руководителем был назначен ученик В.И. Вернадского будущий академик **Д.И. Щербаков**.
- Заведующим сектором стал **М.Н. Альтгаузен**.
- К работе секции привлечены ведущие специалисты в области урановой геологии того времени: В.И. Баранов, В.И. Герасимовский, Я.Д. Готман, В.Г. Мелков, А.И. Сулоев и другие.

# ГДЕ И КАК ИСКАТЬ УРАН ?

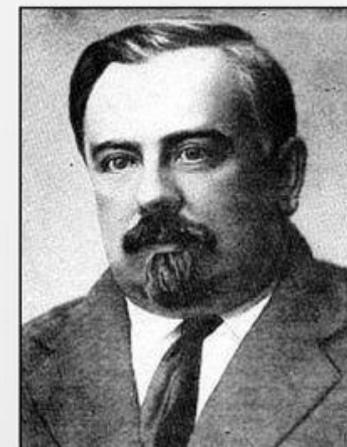
К 1940 г. в СССР было известно пять небольших месторождений урана в Ферганской долине: **Тюямуюн, Майлисай, Уйгурсай, Табошар и Адрасман**. На начало 1944 г. запасы урана составляли **200 т**, среднее содержание урана – около 0,1 %



Владимир Ильич  
Баранов  
(1892-1972)

В.К.Котульский, находившийся в заключении на Колыме, направил в 1943 г. в Правительство докладную записку с предложением использовать в качестве индикатора урановых руд продукт  $\alpha$ -распада – гелий.

Записка была направлена в Радиевый институт. Комиссия с участием проф. В.И. Баранова, с привлечением специалистов ВНИИ разведочной геофизики (проф. А.Г.Граμμαков и др.), рассмотрела единственную, казавшуюся тогда приемлемой, диффузионную модель миграции гелия от локального радиоактивного источника с количеством урана ~ 1000 тонн и глубиной залегания ~ 100м.



Владимир Климентьевич  
Котульский  
(1879–1951)

В 1943 г. организовал радиометрическую лабораторию во Всесоюзном институте минерального сырья и до 1950 г. был ее научным руководителем.

- При поисках урановых руд можно использовать все три типа излучения –  **$\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$** .
- Первым был реализован **гамма-метод**. Гамма-радиометры были изготовлены для пешеходных работ, автомобильного и самолётного вариантов. Наибольшую результативность дали авиационные исследования, с помощью которых до конца 1950-х годов были опознаны практически все перспективные территории Советского Союза. Но гамма-лучи полностью экранируются уже первыми полтора метрами перекрывающих поверхностных отложений.
- Параллельно с гамма съёмкой стали использовать **эманационный (радоновый) метод**. Наиболее эффективный вариант эманационной съёмки был разработан в лаборатории масс-спектрометрических исследований ВИМСа Николаем Ильичом Мусиченко. У радона, при его сравнительно быстром распаде (период полураспада около трёх суток), глубина трассирования рудных тел оценивалась чуть более трех десятков метров.
- Самым глубинным считался **гелиевый метод**.  $\alpha$  -частица и есть ядро атома гелия, которая после захвата двух электронов превращается в нейтральный газ, обладающий весьма высокой проникаемостью.



Мария  
Склодовская-Кюри  
*Marie Skłodowska-Curie*  
(1867-1934)

Мария Кюри весьма скептически оценивала применимость гелиевой съёмки для поисков радиоактивных руд из-за наличия глубинных источников гелия, намного более продуктивных, чем залежи радиоактивных руд в приповерхностной зоне.

Еще в начале столетия она писала: «Гелий, выходящий из Земли, вероятно, образуется из лежащих на глубине радиоактивных веществ..., однако поиски радиоактивных минералов, основывающиеся на этом признаке, по-видимому, не имеют шансов на успех, так как радон, а тем более устойчивый гелий могут происходить из отдаленных подземных областей. Количество выделяющегося гелия, по-видимому, не связано с активностью источника»

(М. Кюри)



Вера Сергеевна  
Глебовская  
(1912-1994)



Эмилия Сергеевна  
Матвеева  
(1926-1997)



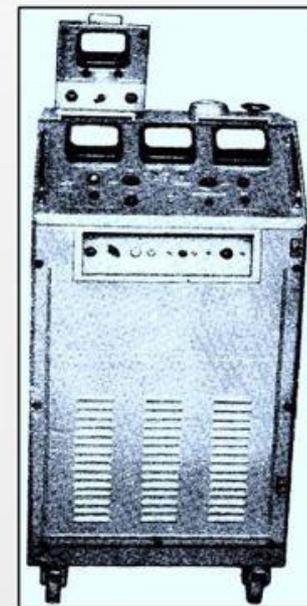
Александр Гаврилович  
Граμμαков  
(1902-1991)

- Поручение Правительства на разработку гелиевого метода было дано Ленинградскому Радиевому институту и Всесоюзному институту разведочной геофизики (ВИРГУ).
- Одновременно начала действовать группа теоретических обоснований (профессор А.Г.Граμμαков и др.) и полевых исследований (В.С.Глебовская, Э.С. Матвеева и др.).
- Вскоре в обоих направлениях возникли большие трудности.
  - теоретические расчёты показывали незначительную добавку «рудного» гелия к предполагаемому его глубинному диффузионному потоку
  - в связи с трудностями высокоточного анализа инертного гелия долго не удавалось обнаружить аномальных значений гелия в реальных полевых условиях.



Николай Ильич  
Мусиченко  
(1909-1978)

- В 1954 году, с целью активизации исследований была подключена лаборатория изотопных методов анализа ВИМСа, руководимая Н. И. Мусиченко.
- Им на крупные месторождения урана в Сев. Казахстане, был вывезен модернизированный гелиевый течеискатель "ПТИ-6".
- Производительность исследований при этом резко увеличилась - в 1955–1957 гг. объемы опробования достигли тысяч единиц.
- Однако, как и в исполнении ВИРГа, ни одного достоверного аномального сигнала получить не удалось.
- В этой связи научным советом МинСредмаша было принято решение гелиеметрические исследования прекратить.



Передвижной  
течеискатель ПТИ-6



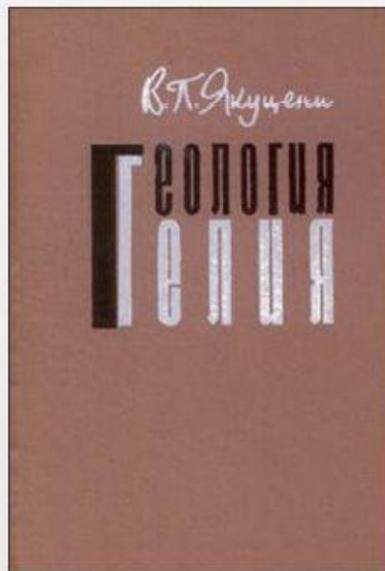
- В начале 1958 года в лабораторию изотопных методов исследований ВИМСа был переведен И.Н. Яницкий, только что получивший диплом горного инженера-геолога, ранее имевший технологическую практику в авиации.
- Он предположил в качестве возможных причин неудач дефекты отбора проб и контроля герметичности пробоотборников.
- На этом основании с большим трудом удалось убедить членов Ученого Совета выпустить отряд ВИМСа на полевые работы "в последний раз".
- Результаты превзошли все ожидания.
- Через месяц работ по новой схеме опробования в шахте и на поверхности крупного уранового Маньбайского (Сев. Казахстан) месторождения удалось выявить устойчивые гелиевые аномалии, превышавшие расчетные значения в десятки и сотни тысяч раз.
- Такая методика отбора проб в США появилась спустя десятилетие.



Игорь Николаевич  
Яницкий



Вера Прокофьевна  
Якуцени



В 1968 г. В.П. Якуцени обобщила данные о гелионосности земных недр.



Александр Николаевич  
Еремеев  
(1920-1995)



Установка для гелиевой съемки



Георгий Павлович  
Тафеев  
(1918-2003)

- В последующие пять лет исследования ВИМСа (Еремеев А.Н. и др.) и ВИРГа (Г.П. Тафеев и др.) были выполнены на сотнях радиоактивных и фоновых по радиоактивности месторождениях, рудопроявлениях, выходах подземных вод в родниках, колодцах, изливающихся скважинах. Распределение гелия оказалось крайне неравномерным, но на рудных месторождениях обычно наиболее высоким.
- В результате была показана закономерная связь аномалий гелия с глубинными долгоживущими разломами унаследованных форм развития и косвенная связь с находящимися в тех же разломах эндогенными рудами.
- Гелий стал универсальным индикатором глубинных активных разломов.
- На этой основе в 1963 году по настоянию руководителя отдела геофизических поисков Александра Николаевича Еремеева, ВИМС начал региональную гелиевую съёмку, оказавшуюся одним из наиболее эффективных способов структурного геологического картирования.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ  
И ОТКРЫТИЙ



ДИПЛОМ  
НА ОТКРЫТИЕ

„Закономерность распределения концентраций гелия  
в земной коре“

В соответствии с Положением об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях Государственный комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий установил, что граждане Союза Советских Социалистических Республик

ЕРЕМЕЕВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ  
ОСИПОВ ЮРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ  
ЩЕРБАНОВ ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ  
ЯНИЦКИЙ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ  
БАШОРИН ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ГЛЕБОВСКАЯ ВЕРА СЕРГЕЕВНА  
ГРАММАНОВ АЛЕКСАНДР ГАВРИЛОВИЧ  
ТАФЕЕВ ГЕОРГИЙ ПАВЛОВИЧ  
МАТВЕЕВА ЭМИЛИЯ СЕРГЕЕВНА  
ЯКУЦЕНИ ВЕРА ПРОКОФЬЕВНА  
МУСИЧЕНКО НИКОЛАЙ ИЛЬИЧ

сделали открытие, определяемое следующей формулой:

Экспериментально установлена неизвестная ранее закономерность, заключающаяся в том, что распределение аномальных (повышенных) концентраций свободного поданжного гелия зависит от глубинных, в том числе рудоносных, разломов земной коры.

Настоящее открытие зарегистрировано в Государственном реестре открытий СССР 29 июля 1969 г. за № 68 с приоритетом 30 декабря 1968 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ГОСКОМИТЕТА

Ч. Шонг 1976 г.



*С. Е. Мансаров*

В 1969 году закономерная связь аномалий гелия с глубинными разломами была зарегистрирована в качестве научного открытия № 68

- К этому времени специалистами НИИ вакуумной техники имени С.А.Векшинского Минэлектронпрома (Л.Е.Левиной, В.В.Пименовым) был разработан наиболее удобный для исследований магнитоэлектрический анализатор гелия.
- С помощью этой серийно выпускавшейся аппаратуры к 1975 году на территории Советского Союза, главным образом в его Европейской части, были исследованы миллионы проб, позволившие составить макет карты проницаемости земной коры масштаба 1:2 500 000.

Гелий раскрывает тайны  
земных недр  
И. П. Федоров



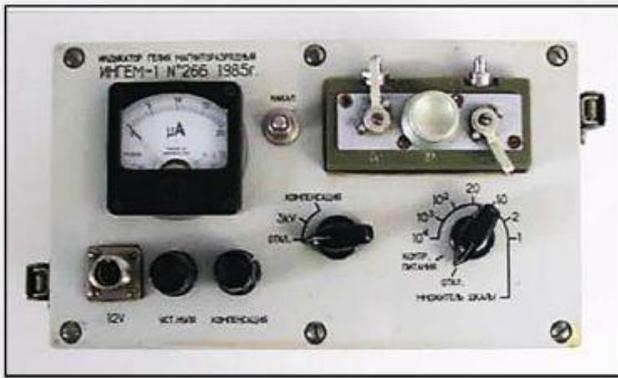
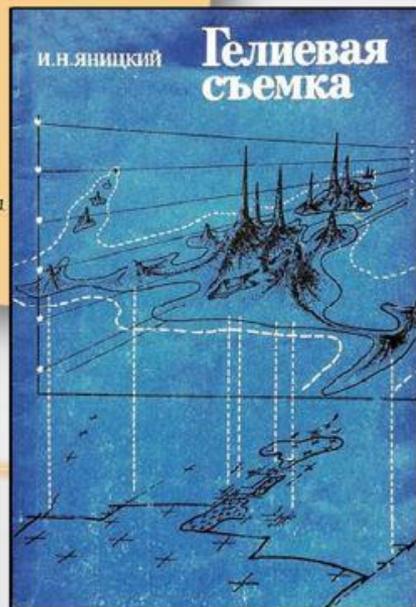
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ  
им. И. М. Федорова (ВИМС)

ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЕЛИЯ  
В АРГЕНТАНСКИХ ВОДАХ  
И. М. ВИНЦКИН  
И. П. ЕРЕМЕЕВ, И. П. ВИНЦКИН  
А. Н. ЕРЕМЕЕВ, И. П. ВИНЦКИН  
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ГЕЛИОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ МИГРАЦИИ ГЕЛИЯ  
В ЛИТОСФЕРЕ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР  
ВСЕОБЩЕОТРАСЛОВОЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ  
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ  
им. И. М. ФЕДОРОВА (ВИМС)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПРИМЕНЕНИЮ ГЕЛИОМЕТРИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МАСШТАБА 1:200 000  
И КРУПНЕЕ ДЛЯ ВЫБОРА  
ПЛОЩАДОК ПОД ОТВЕТСТВЕННЫЕ  
ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

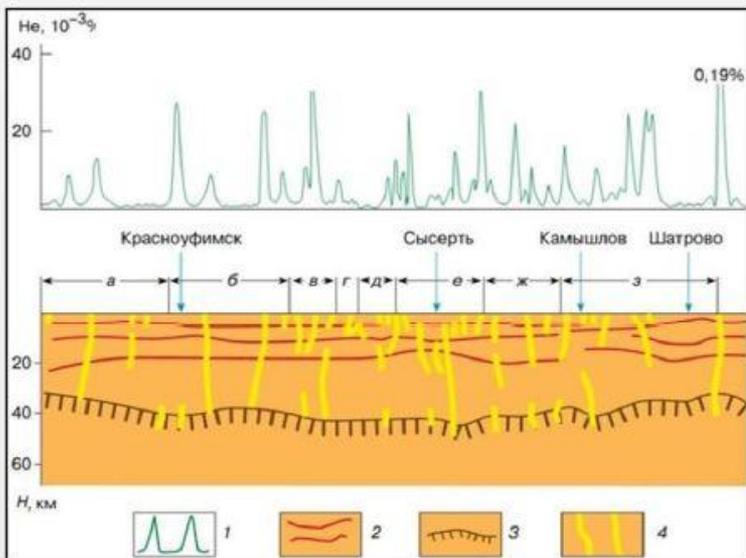
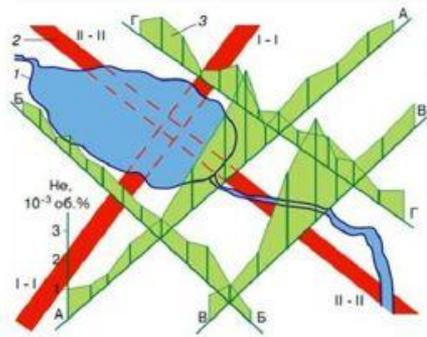
ПОЛЕ ГЕЛИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ  
СССР  
(пояснительная записка к карте  
приповерхностного поля гелия масштаба  
1: 2 500 000)



Индикатор гелия магнитоэлектрический  
ИНГЕМ-1

**Результаты гелиевой съемки в районе отстойника токсичных промышленных вод**

– границы водоёма, 2 – разломы, 3 – результаты гелиевой съемки по профилям

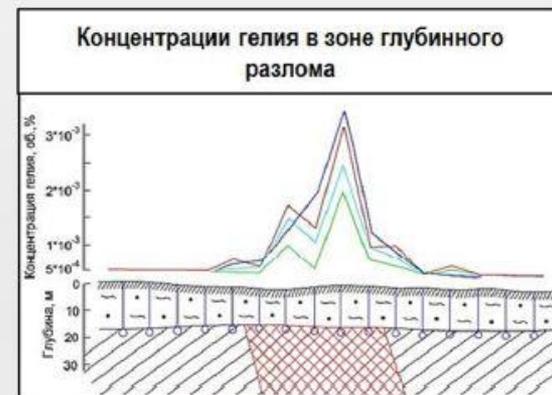
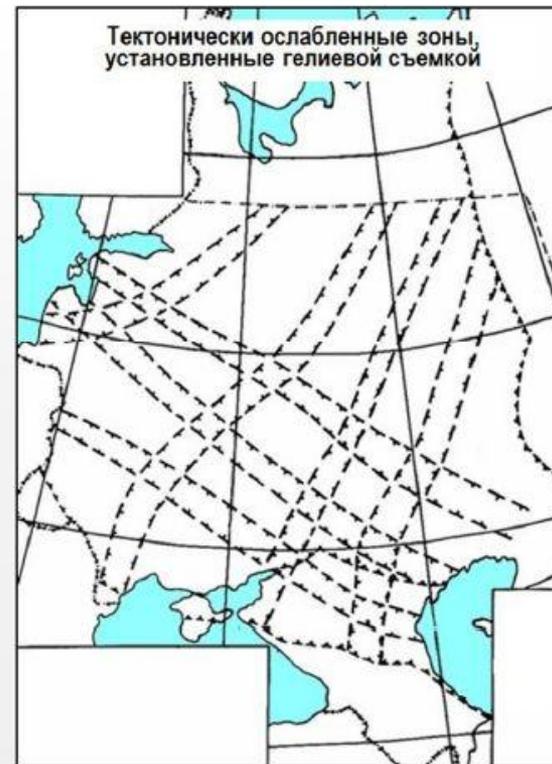
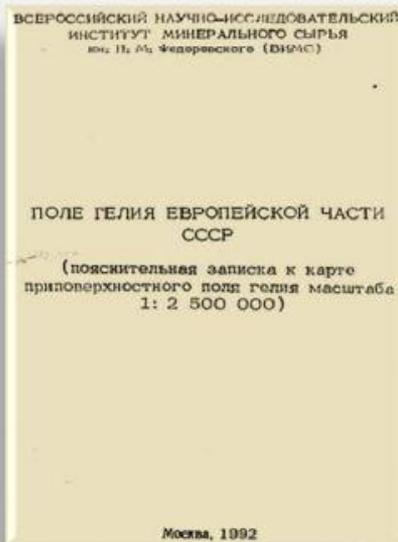


а – восточная часть Русской платформы; б – Предуральский прогиб; в – Западно-Уральская зона складчатости; г – Центрально-Уральское поднятие; д – Тагило-Магнитогорский прогиб; е – Восточно-Уральское поднятие; ж – Восточно-Уральский прогиб; з – Зауральское поднятие.

1 – график концентрации гелия в подземных водах, 2 – основные отражающие границы, 3 – граница поверхности Мохоровичича, 4 – разрывные нарушения земной коры



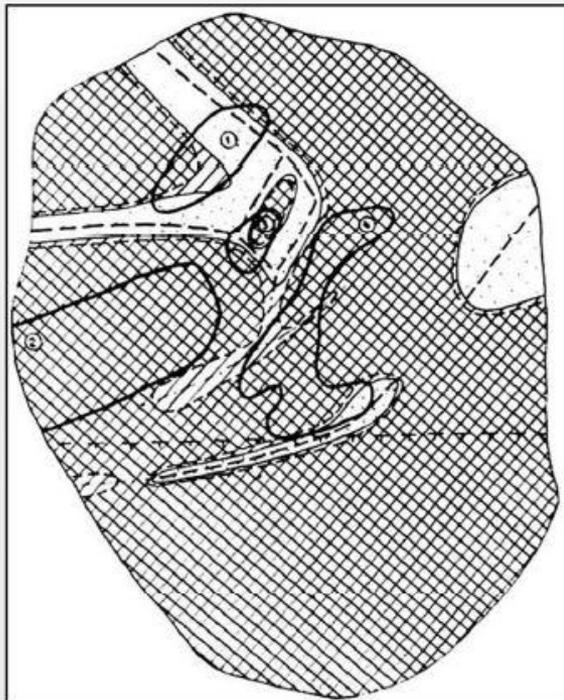
**Валерий Николаевич Башорин (1940-2009)**



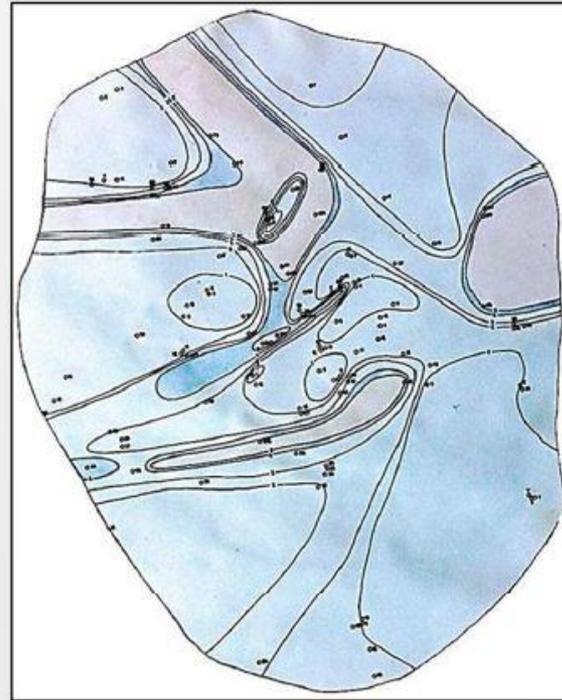
# РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕЛИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В МОСКВЕ

Проницаемость пород по данным  
гелиометрии

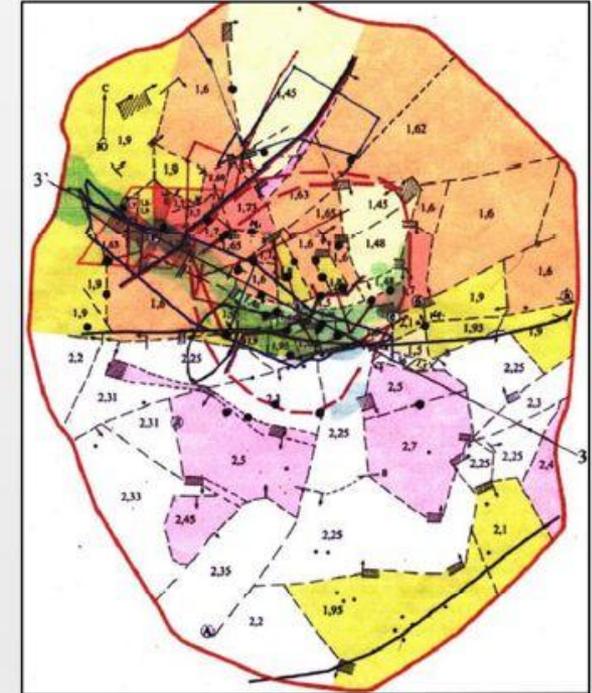
(по В.Н. Башорину и др. )



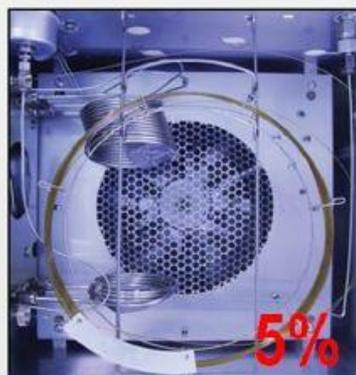
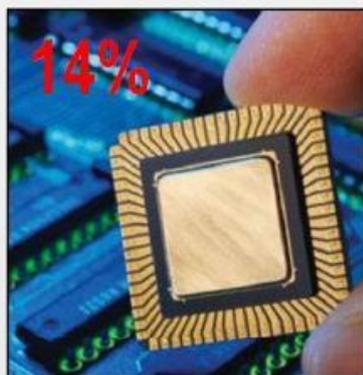
Распределение концентраций  
гелия в подземных водах



Совмещенная карта по поверхности  
кристаллического фундамента с  
местами современных провалов  
грунтов (по И.В. Померанцевой)



# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛИЯ



Магнитно-резонансная томография 21 %, поддержание давления и продувки включая ракетносители 11 %, сварка 17 %, обнаружения утечек 5 %, атмосферный контроль, в том числе дайвинг 6 %, полупроводники, оптические волокна 14 %, хроматография 5%, метеозонды 5 % и многое другое ...