

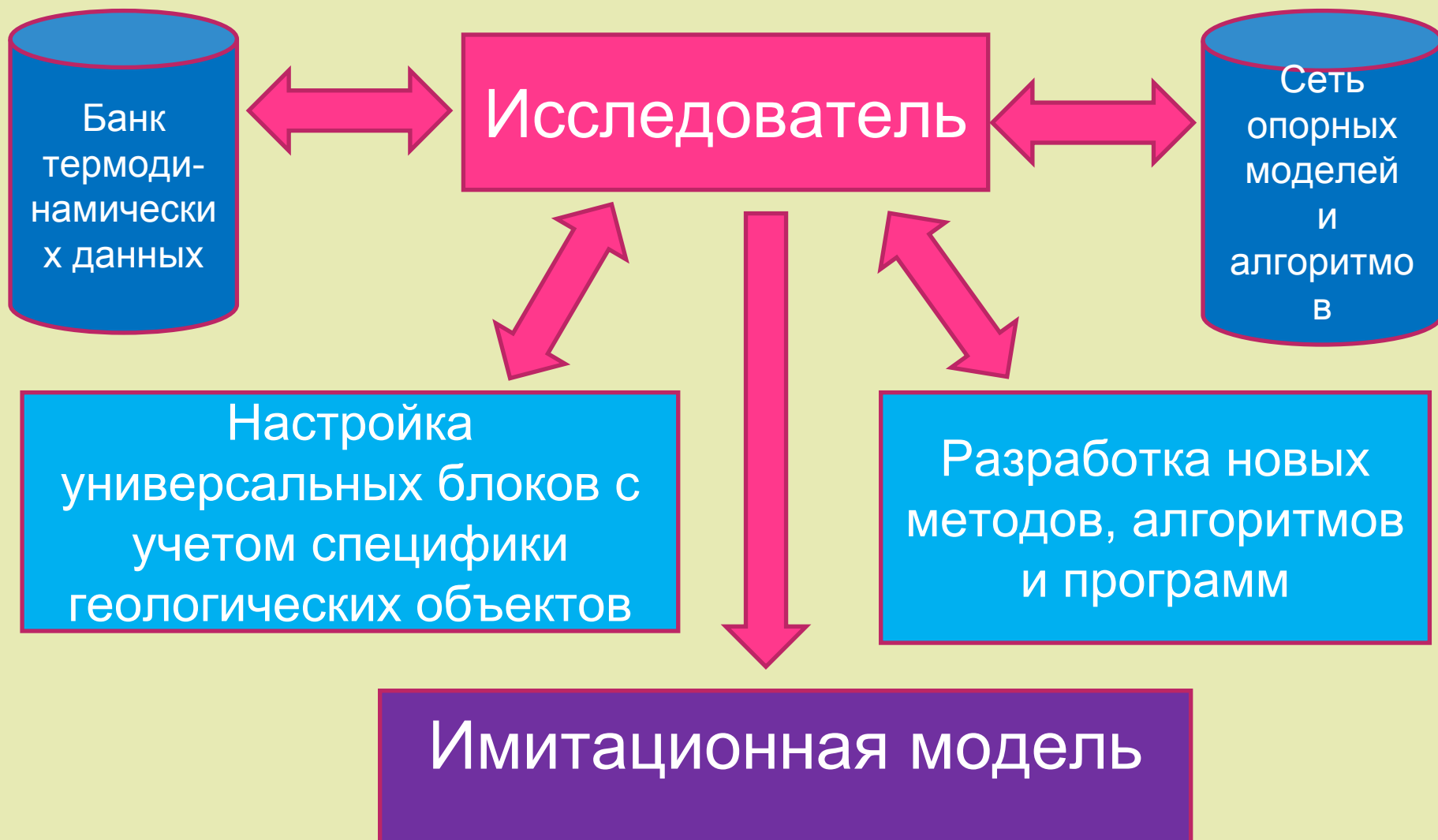
**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ
ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ
ПРОЦЕССОВ
РУДООБРАЗОВАНИЯ**

Чудненко К.В., Кравцова Р.Г., Пальянова Г.А.



Основоположник термодинамического моделирования,
профессор Игорь Константинович Карпов (1932-2005)

Методология моделирования процессов рудообразования



Список и краткая характеристика основных термодинамических баз данных

<i>Имя базы данных</i>	<i>Комментарии</i>	<i>Имя базы данных</i>	<i>Комментарии</i>
s_sprons 1998	Система термодинамических свойств веществ SPRONS92.DAT [Johnson et al., 1992]. Редакция 1998 г.	b_Ghiorso	Система согласованных термодинамических свойств минералов и расплавов Гиорсо [Ghiorso, Sack, 1991].
s_RobieHemi ngway 1995	Термодинамические свойства минералов (Robie, Hemingway, 1995). Согласованы для условий регионального метаморфизма (25-1000 °С, 1-15000 бар).	b_Berman 1988	Система согласованных термодинамических свойств минералов [Berman, 1988] в интервале температур и давлений (100-5000°С, 1-50000 бар).
h_Holland 1998	Термодинамические свойства минералов из базы данных Т.Холланда и Р.Пауэлла [Holland, Powell, 1998] для области 300-900°С, 1-15 кбар).	hp_Holland 2011	Термодинамические свойства минералов из базы данных Т.Холланда и Р.Пауэлла [Holland, Powell, 2011] для области 300-2000°С, 1-300 кбар).
s_Yokokawa 1988	Сводка термодинамических свойств конденсированных веществ Yokokawa [Yokokawa, 1988].	a_Sprons 1998	Система термодинамических свойств компонентов водного раствора из SPRONS92.DAT [Johnson et al., 1992].

Твердые растворы, реализованные в ПК «Селектор»

<i>Твердый раствор</i>	<i>Минерал</i>	<i>Твердый раствор</i>	<i>Минерал</i>
Амфибол	Тремолит + Fe-актинолит + Чермакит + Паргасит + Глаукофан +К-паргасит	Сапфирин	сапфирин(442)+ сапфирин(793) + Fe-сапфирин
Na - амфибол	Глаукофан + Fe-глаукофан + Рибекит	Биотит	Флагопит + Аннит + Истонит
Fe-Mg амфибол	Куммингтонит + грюнерит	Эпидот	Эпидот + Клиноцоизит
Гранат	Пироп + Гроссуляр + Альмандин + Спессартин +Андродит	Клинопироксен	Диопсид + Геденбергит + Чермак.пироксен + Жадеит +Энстатит
Кордиерит	Кордиерит + Fe-кордиерит +Mn-кордиерит	Хлорит	Клинохлор + Дафнит + Амесит
Оливин	Фаялит + Форстерит	Плагиоклаз	Анортит + Альбит
Ортопироксен	Энстатит + Ферросилит + Mg-чермакит + Диопсид	Натровый клинопироксен	Жадеит + Акмит + Диопсид + Геденбергит
Доломит	Доломит + Анкерит	КПШ	Санидин + Альбит
Кальцит-магнезит-	Кальцит + Магнезит + Сидерит + Родохрозит	Осумилит	осумилит(1) + осумилит(2) + Fe-осумилит
Хлоритоид	Mg-хлоритоид + Fe-хлоритоид + Mn-хлоритоид	Ильменит-гематит	ильменит + гематит пирофанит гейкилит
Шпинель	Шпинель + Герцинит + Магнетит	Ставролит	Mg-ставролит + Fe-ставролит + Mn-ставролит
Обратная	Магнетит + Ульвошпинель	Тальк	Тальк + Чермак-тальк +

Твердые растворы самородного золота (высокопробное золото, электрум, кюстелит) и серебра

Минерал	N_{Au}^*	$\lg(Au/Ag)$ /(Au/Ag) **	Состав сплава $Au_xAg_{1-x}^{***}$
<i>Высоко- пробное золото</i>	1000	∞	Au
	950	1.28/19	$Au_{0.912}Ag_{0.088}$
	900	0.95/9	$Au_{0.831}Ag_{0.169}$
	850	0.74/5.67	$Au_{0.756}Ag_{0.244}$
	800	0.60/4	$Au_{0.687}Ag_{0.323}$
	750	0.48/3	$Au_{0.622}Ag_{0.378}$
	700	0.37/2.33	$Au_{0.561}Ag_{0.439}$
<i>Электрум</i>	650	0.27/1.86	$Au_{0.504}Ag_{0.496}$
	600	0.18/1.5	$Au_{0.451}Ag_{0.549}$
	550	0.09/1.22	$Au_{0.401}Ag_{0.599}$
	500	0.0/1	$Au_{0.354}Ag_{0.646}$

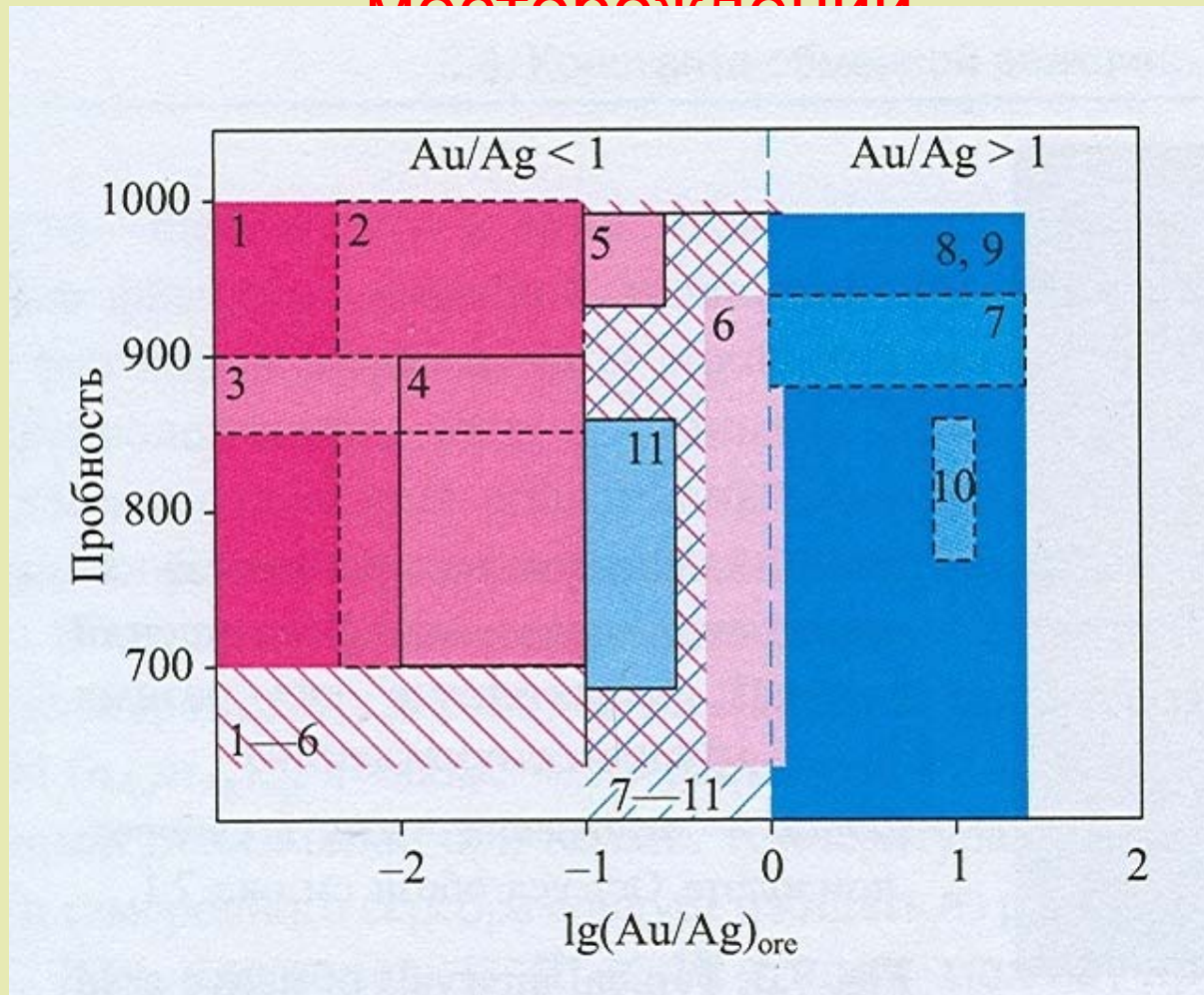
Минерал	N_{Au}^*	$\lg(Au/Ag)$ /(Au/Ag) **	Состав сплава $Au_xAg_{1-x}^{***}$
<i>Электрум</i>	450	-0.09/0.82	$Au_{0.309}Ag_{0.691}$
	400	-0.18/0.67	$Au_{0.267}Ag_{0.733}$
	350	-0.27/0.54	$Au_{0.228}Ag_{0.772}$
	300	-0.37/0.43	$Au_{0.190}Ag_{0.810}$
	<i>Кюстелит</i>	250	-0.48/0.33
200		-0.60/0.25	$Au_{0.120}Ag_{0.880}$
150		-0.75/0.18	$Au_{0.088}Ag_{0.912}$
<i>Самород- ное серебро</i>		100	-0.96/0.11
	50	-1.28/0.05	$Au_{0.028}Ag_{0.972}$
	0	0/	Ag

Примечание: * N_{Au} – пробность, равная (в массовых промилле),

** - весовые отношения Au/Ag в самородном золоте или сплаве или Au-Ag твердом растворе

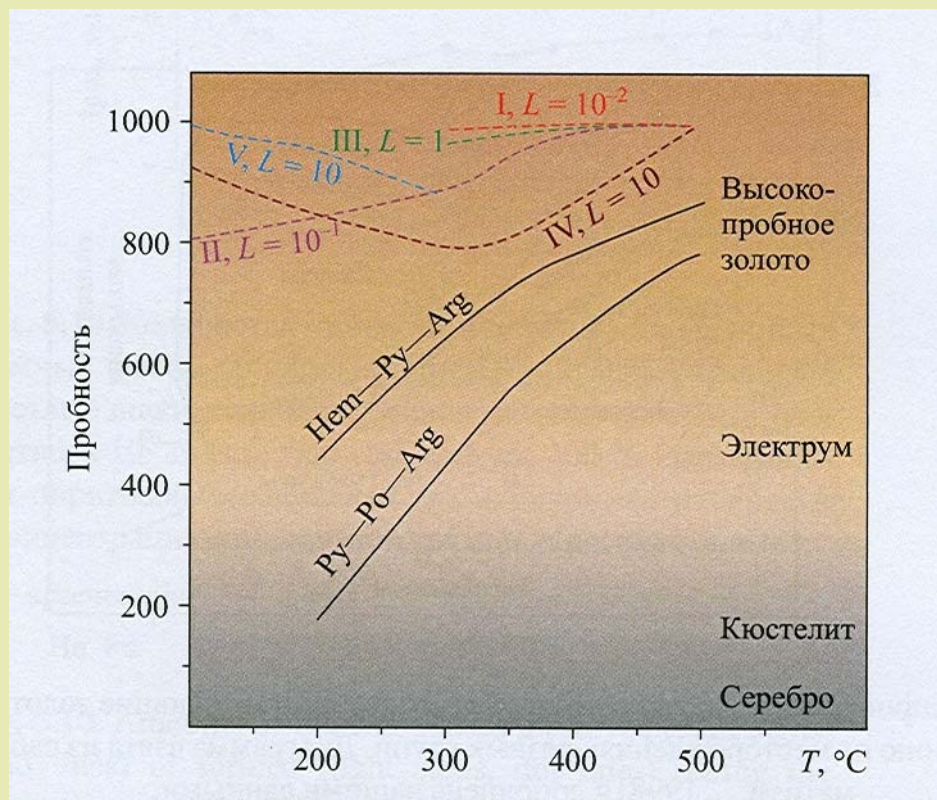
*** x – мольная доля золота в самородном золоте или сплаве

Пробность самородного золота и отношения Au/Ag в пиритсодержащих рудах различных месторождений



1-6 – золотомедные-порфировые месторождения: 1 – Кальмакыр, 2 –Санта Рита, 3 – Бингхем, 4 – Кингкинг, 5 – Грасберг, 6 – Рябиновое;
7-11 – золотоскарновые месторождения: 7 – Синюха, 8 – Натальевка, 9 – Ортоса, 10 – Никель Плейт, 11 – Макларен.

Температурные зависимости пробности золота, равновесного с растворами разного типа



I — кислые, высокохлоридные ($m_{\text{HCl}} > 0,01$, $m_{\text{NaCl}} = 1$ до 5), 300—500 °C; II — близнейтральные, умереннохлоридные ($m_{\text{NaCl}} \approx 1$), 200—400 °C; III — близнейтральные, высокохлоридные ($m_{\text{NaCl}} = 1$ до 5), 300—500 °C; IV — щелочные, любой хлоридности ($m_{\text{NaOH}} > 0,01$, $m_{\text{NaCl}} = 0$ до 5), 200—500 °C; V — кислые и близнейтральные, малохлоридные ($m_{\text{NaCl}} < 1$), <300 °C. Синие линии разделяют поля преобладания различных комплексов серебра при умеренных (6 мас.% или 1 m NaCl) концентрациях хлоридов, красные — то же самое для золота. Римские цифры соответствуют типу раствора.

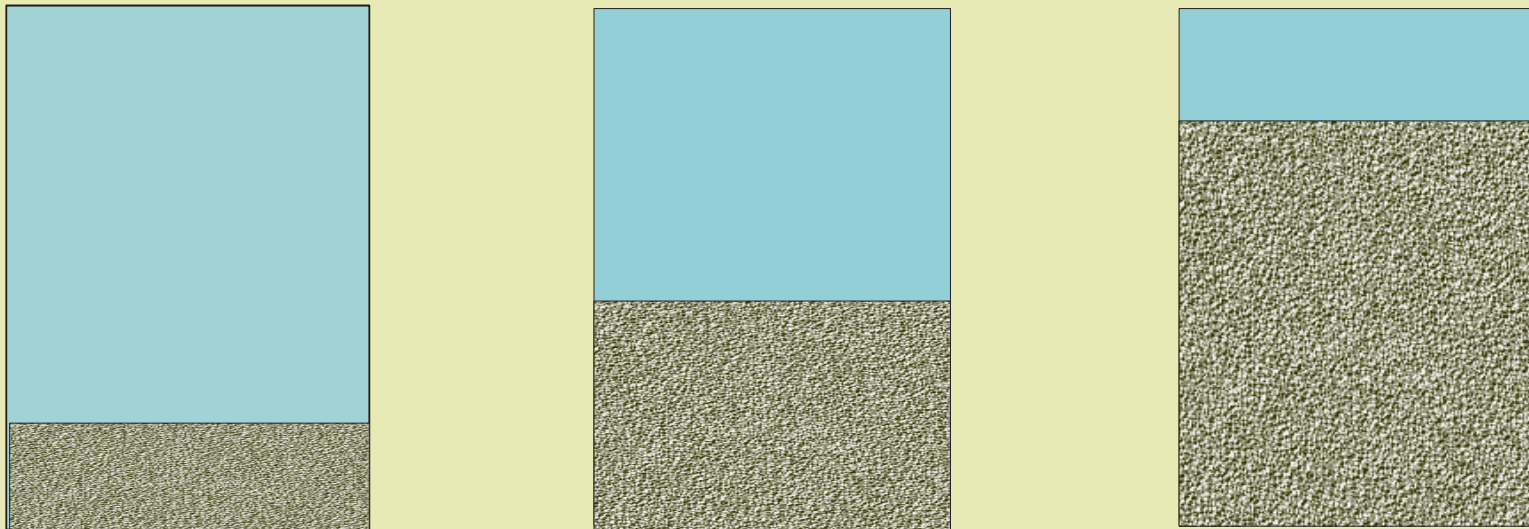
«Пределные» сценарии возможного развития процессов растворения, переноса и отложения рудных КОМПОНЕНТОВ

1. Подъём глубинного флюида, образованного в результате термодинамически равновесного взаимодействия «магматические породы - вода» в подрудной зоне.
2. Дегазация глубинного флюида из корневой зоны стягивания гидротерм по стволочной трещиноватой зоне в проточном режиме по геобаротерме без взаимодействия с вмещающими породами.
3. Модель смешения с метеорной водой. Эндогенный флюид движется вверх по геобаротерме и, дополнительно происходит смешивание с метеорными водами, насыщенными кислородом атмосферы.
4. Модель взаимодействия глубинного флюида с вмещающими породами по схеме последовательного проточного реактора.
5. Инфильтрация метеорных вод в нижние горизонты и их влияния на процесс рудообразования за счет вторичного обогащения гидротермальных растворов рудными компонентами.

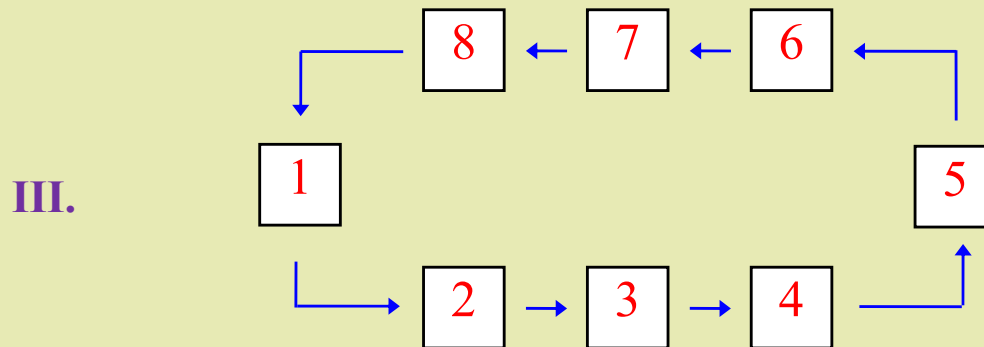
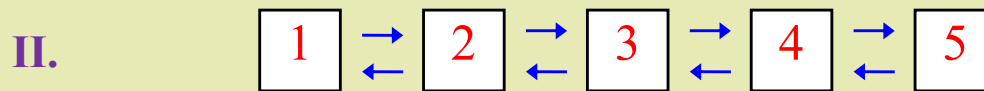
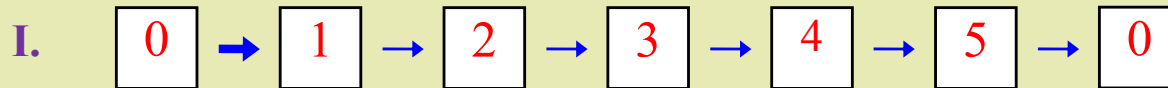
Общая схема взаимодействия «вода-порода»

Введенное впервые де Донде (1920) понятие степени полноты реакции широкое применение в физико-химическом моделировании получило после работы Helgeson (1969), где оно использовалось в качестве относительной скорости растворения исходных минералов в процессе гидротермального минералообразования.

Расчет по «степени протекания реакции» предполагает на каждом элементарном этапе моделирования учет определенной доли из исходной неравновесной минеральной ассоциации.



Многорезервуарная динамика

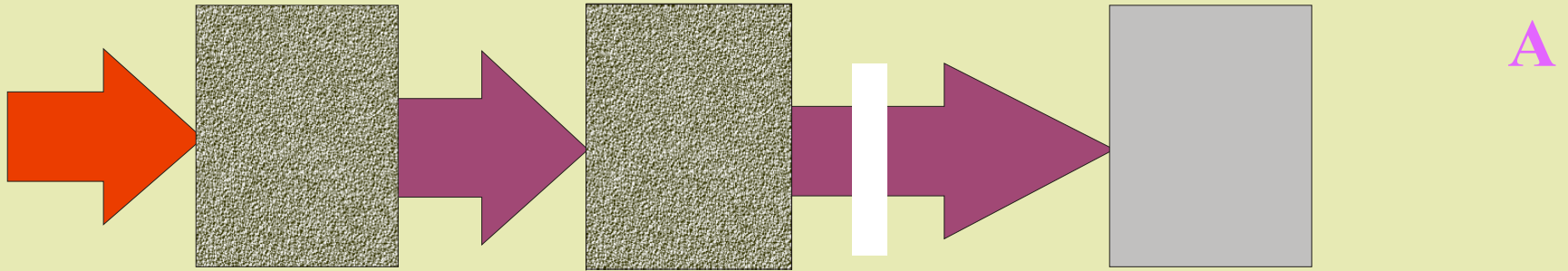


I - Проточный реактор.

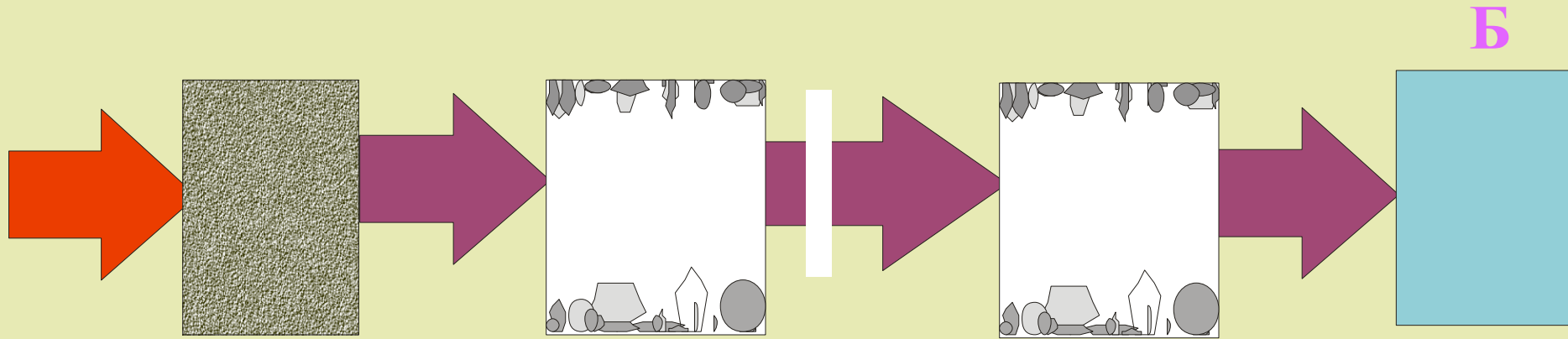
II - Последовательность с возвратом
между смежными системами.

III - Замкнутая конвективная ячейка –
круговорот.

Схема движения водного флюида

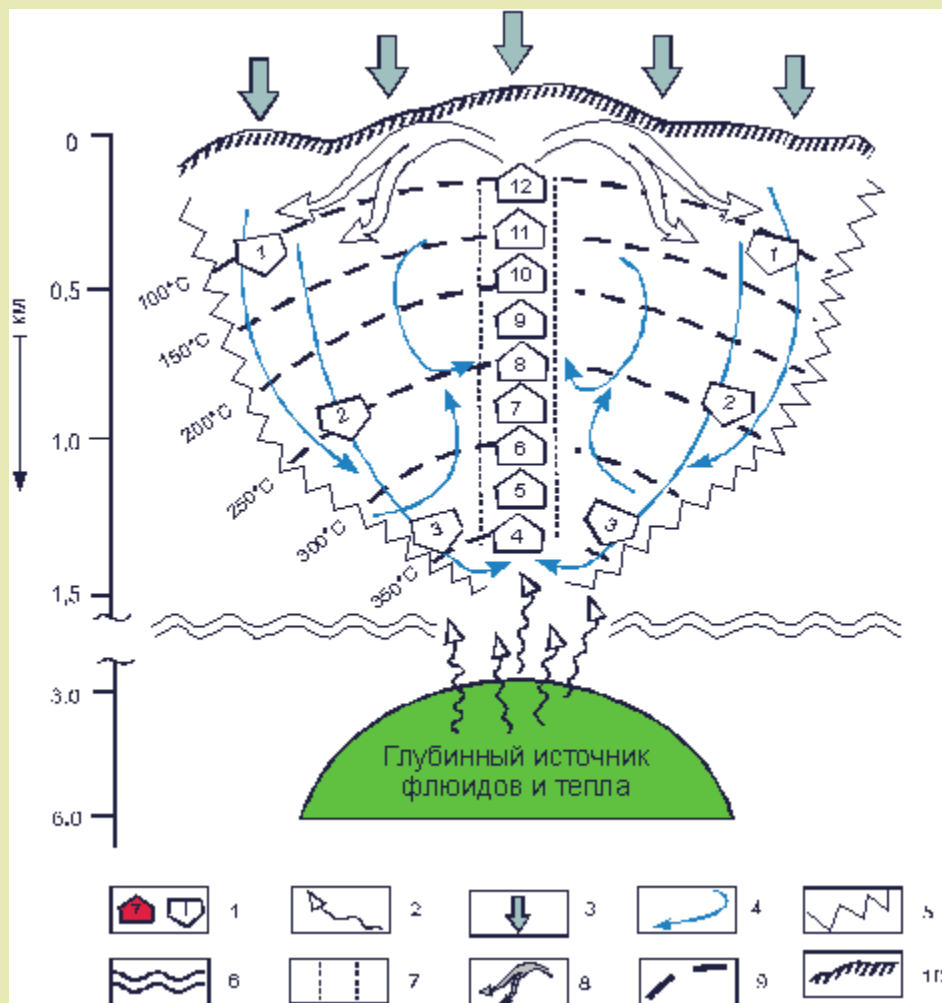


через массив вмещающих пород



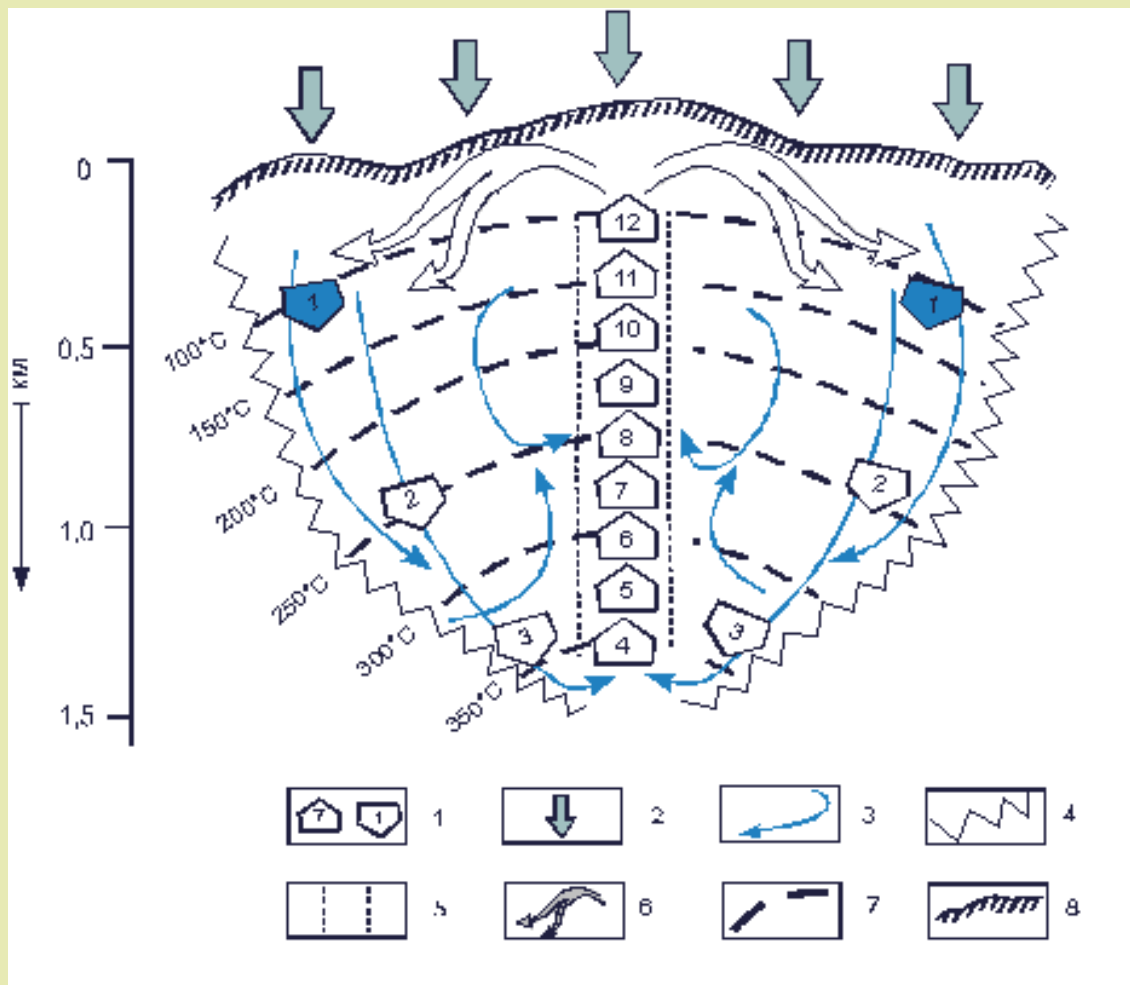
по трещине

Обобщенная схема многорезервуарной термодинамической модели вулканогенно-гидротермальной рудообразующей системы эпитермальных золотосеребряных месторождений Северо-Востока Азии



1 - резервуары с номерами; 2 - восходящий поток глубинного флюида; 3 - метеорные воды; 4 - нисходящий поток инфильтрационных вод; 5 - границы гидротермальной системы; 6 - граница, отделяющая область гидростатического давления от нижней области с преобладанием литостатического давления; 7 - трещиноватый канал, по которому происходит транзит восходящих потоков гидротермальных растворов; 8 - разгрузка гидротермальных растворов в режиме рассеяния и растекания; 9 - изотермы, 10 - поверхность .

Инфильтрационная термодинамическая модель переноса и мобилизации рудных компонентов



1 - резервуары с номерами;
2 - метеорные воды; 3 -
нисходящий поток
инфильтрационных вод; 4 -
границы гидротермальной
системы; 5 - трещиноватый
канал, по которому
происходит транзит
восходящих потоков
гидротермальных
растворов; 6 – разгрузка
гидротермальных
растворов в режиме
рассеяния и растекания; 7 –
изотермы, 8 – поверхность.

Нестационарная модель с учетом теплофизических свойств породы

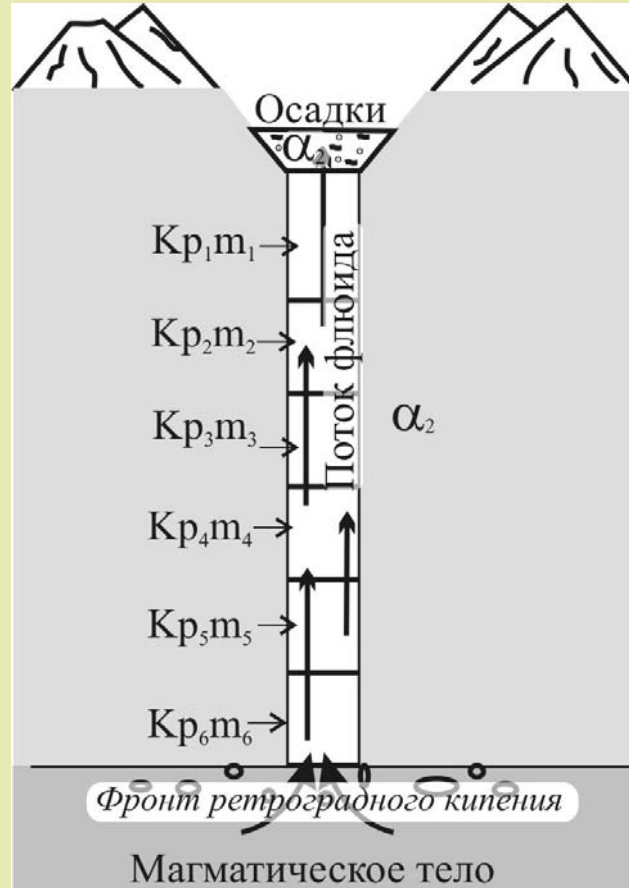


Схема модели разреза вулcano-гидротермальной системы

Kp_i – пористость, m_i – проницаемость i -го слоя флюидопроводника,

α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности,

α_2 - коэффициентом теплоотдачи боковые стенки флюидопроводника



Благодарю за внимание

