Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

ЗОЛОТО-УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ КОНГЛОМЕРАТАХ

Метаморфизованные докембрийские золотоурановые конгломераты долгое время оставались ведущим геолого-промышленным типом по запасам и добыче золота. В 1970 г. из руд крупнейшего в мире месторождения золотоносных конгломератов Витватерсранд (ЮАР) было получено 1 000,4 т золота, доля извлеченного золота при этом со ставляла 79,1% мировой добычи.

Интерес к древним конгломертам проявился в 1884 г., когда фермер Дж. Уолкер (Юж. Африка) случайно увидел блёстки.

Блёстки оказались пиритом, но проба дала желтую полоску Au песка. Так был открыт пласт Мейн-Риф – лидер будущего месторождения Витватерсранд.

За всю историю человечество добыто ~80 тыс.т. Au из них ~2/3 извлечено из конгломератов за 100 лет, в том числе >30 т.т. в послевоенные годы!!! из руд месторождения Витватерсранд.

Витватерсранд (Witwatersrand), Ранд, крупнейшее в мире месторождение руд золота, содержащих уран. Расположено на территории ЮАР, на Ю. провинции Трансвааль. В. – горная гряда высотой 150-300 м на плато Высокий Велд; служит водоразделом рр. Лимпопо и Вааль. Рудоносная площадь протягивается от Йоханнесбурга к Ю-З на 350 км (при ширине от 25 до 100 км). Месторождение открыто в 1884. С начала эксплуатации по 1967 получено около 21 тыс.т золота; в 1965 – около 900 т (около 2/3 суммарной добычи в капиталистическом мире). Содержание золота 8-20 г на 1 т товарной руды. Запасы золота В. оцениваются десятками тыс.т. Кроме золота, руды В. содержат уран в пределах от 0,019 до 0,038%, редко 0,1%. Запасы урана в таких убогих рудах оцениваются в 300 тыс.т. Здесь находятся глубокие шахты, которые достигают 3 700 м, причём температура в них составляет 50-52°С.

Первые сообщения о радиоактивном веществе в Au рудах Витватерсранда появились в 1915 г. В 1923 г. оно было определено как УРАНИНИТ

Специальные исследования на U начаты в 1944 г. В 1952 г. начали работу урановая обогатительная фабрика.

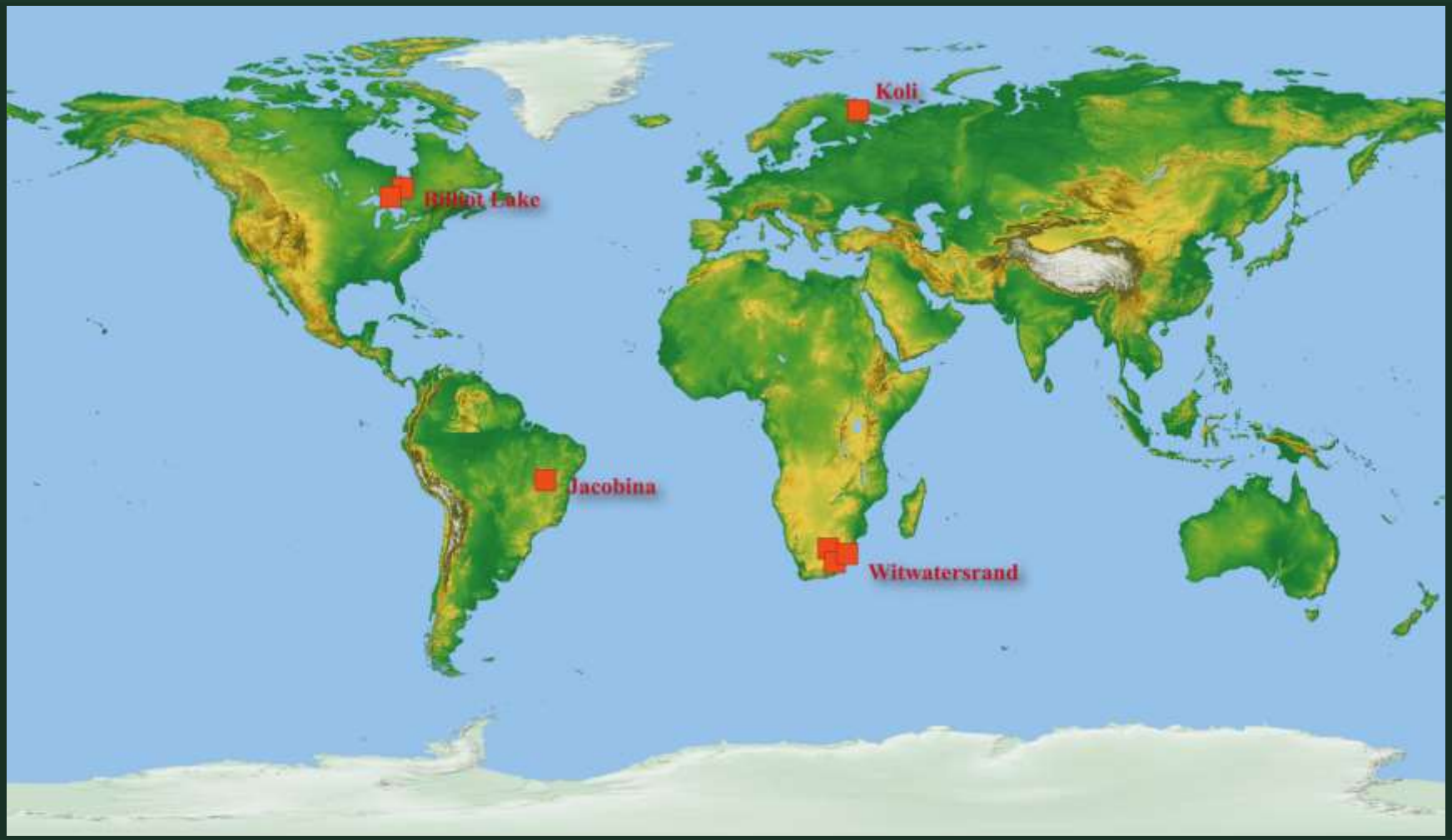
Это один из крупнейших урановорудных районов мира.

Общий потенциал района оценивается в 1,1 млрд. т. руды с содержанием U_3O_8 от 0,078 до 0,103%.

Близкие по возрасту, условиям локализации и составу известны U и Au-U месторождения а разных районах мира:

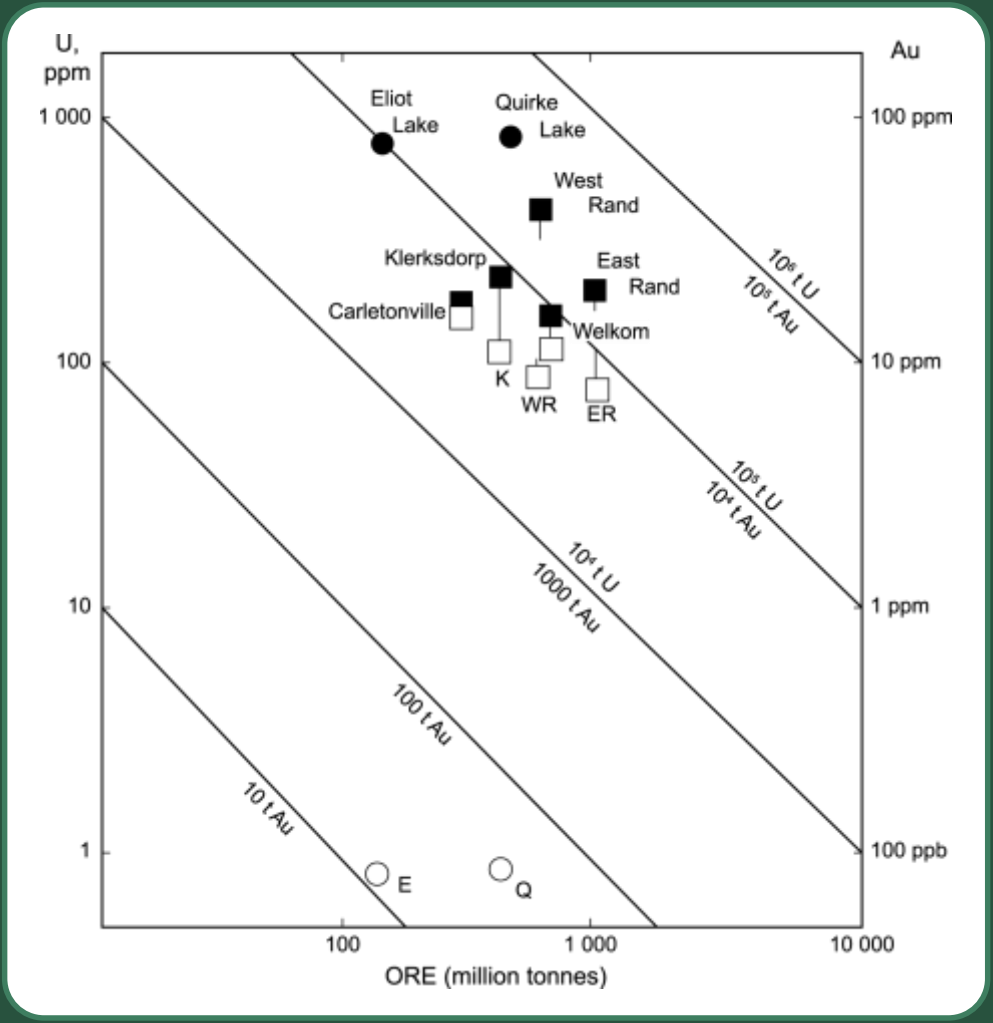
1) Блайнд-Ривер (Канада)
   Радиоактивность известна с 1949 г.
   Запасы исчисляются в 300 млн. т. (1955 г.)
2) Жакобина (Бразилия) Au известно с XVII века U открыт в музейных (!) образцах – 1953 г.

Locations of most significant quartz-pebble conglomerate deposit



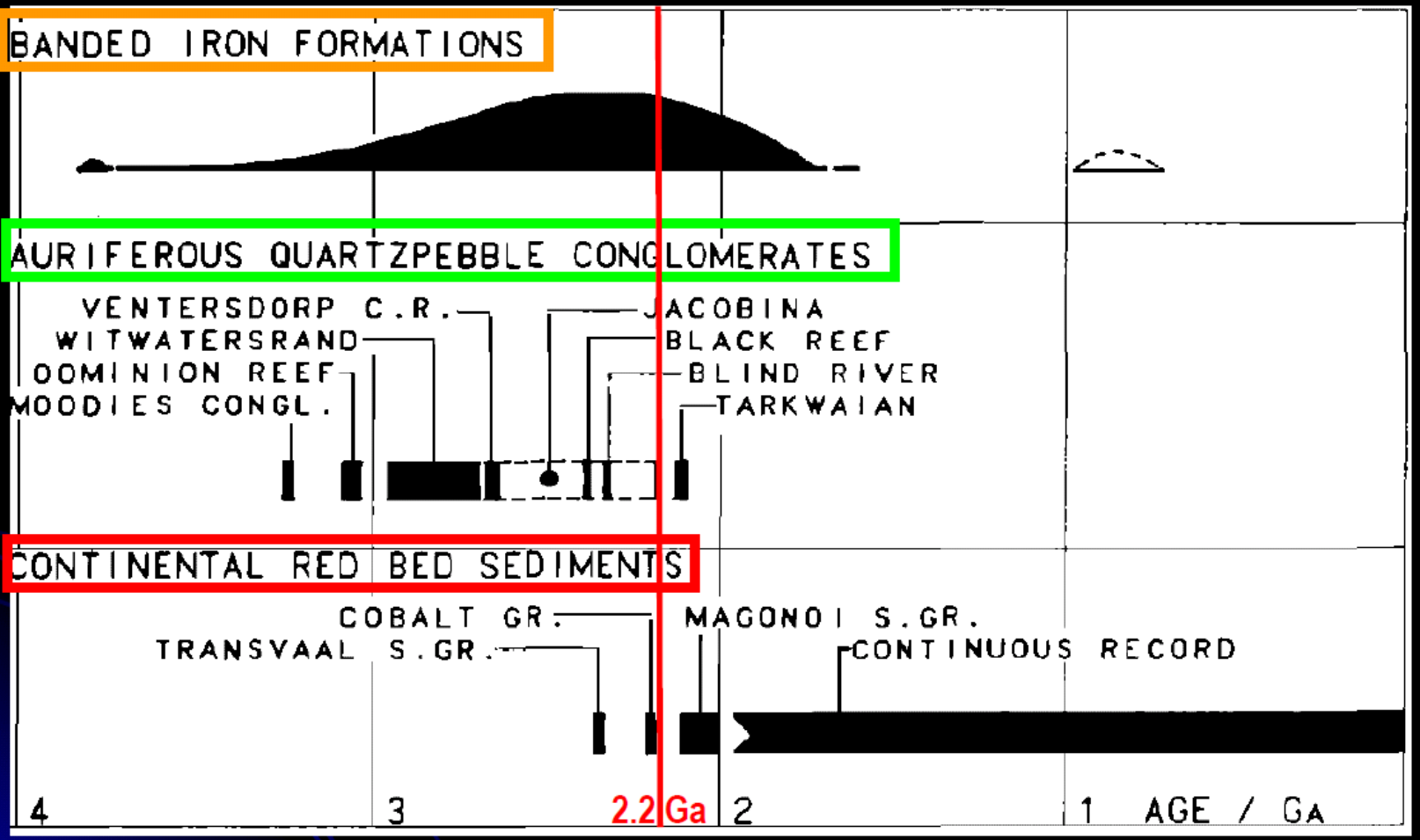
Некоторые сопоставимые особенности руд различных районов мира

		Витватерсранд	Блайнд-Ривер		Жакобина
Вмещающие породы и их возраст		Конгломераты, кварциты, сланцы 2,2-2,8 млр.лет	Гурон Конгломераты, полевошпатовые кварциты 2,0-2,8 млр.лет		Минас Конгломераты, кварциты сланцы 2-3 млр.лет
Содержание:	Au, г/т	6,0-23,0	От следов до ураганновысо-ких	0,56-0,85	8,0-13,0
	U_3O_8, %	0,01-0,06	0,09-0,13		0,02-0,04
	ThO_2, %	Следы	0,02		Следы
	Пирит, %	2-3 (тонкая вкрапленность)	5-12 (крупная вкропленность)		2-5 (тонкая вкрапленность)
Состав галька и средний диаметр					
Отношение галек к цементу		70:30	65:35-40:60		60:40
Наличие Серецита и Хлорита,%		отмечается	15-25		15-25
Углеродистое в-во		В существенных количествах	В незначительных количествах		–
Урановые минералы		Уранинит, тухолит	Браннерит, уранинит, тухолит		Уранинит
Другие минералы		Марказит, пирротин, ильменит, кобальтин, галенит, сфалерит, OsIr, алмаз, хромит и др.	Марказит, пирротин, магнетит, кобальтин, галенит, сфалерит, халькопирит, молибденит и др.		Не изучались (халькопирит, сфалерит, пирротин, молибденит)


U, ppm
Au
1 000
100
10
1
100 ppm
10 ppm
1 ppm
100 ppb
Eliot Lake
Quirke Lake
West Rand
Klerksdorp
East Rand
Carletonville
Welkom
K
WR
ER
E
Q
10⁶ t U
10⁵ t Au
10⁵ t U
10⁴ t Au
10⁴ t U
1000 t Au
100 t Au
10 t Au
100
1 000
10 000
ORE (million tonnes)

Evidences for a reduced atmosphere < 2,3 Ga

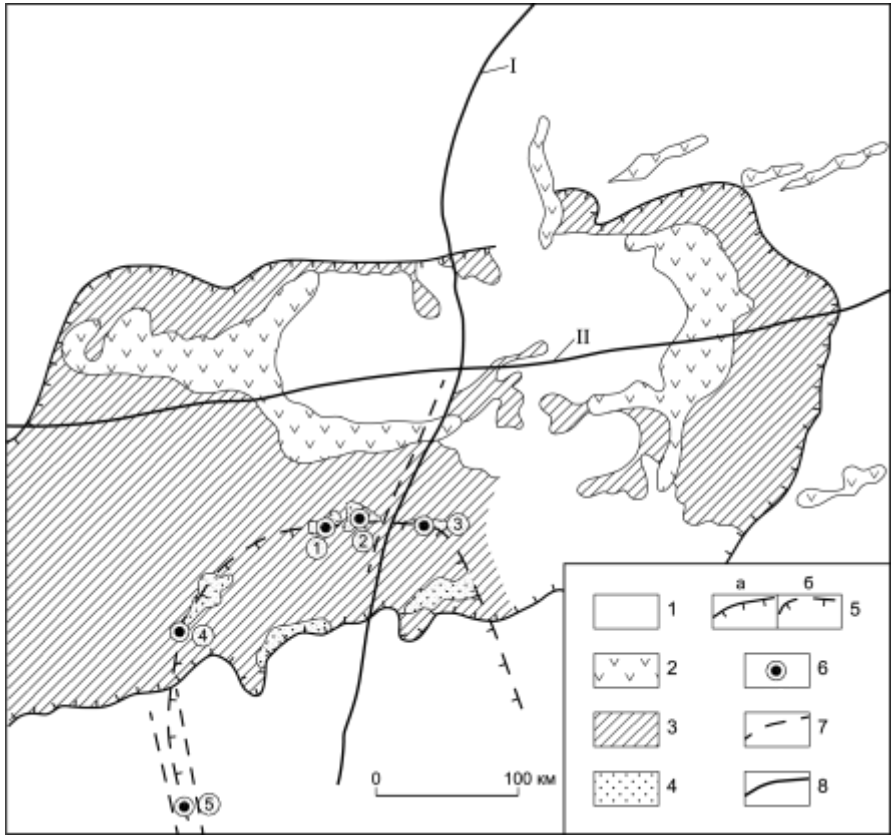
EVIDENCES FOR A REDUCED ATMOSPHERE < 2.3 Ga



Age distribution of banded iron-formations (after James, 1983), pyritic quartz-pebble conglomerates, continental red-bed sediments

Положение рудных районов в провинции Витватерсранд

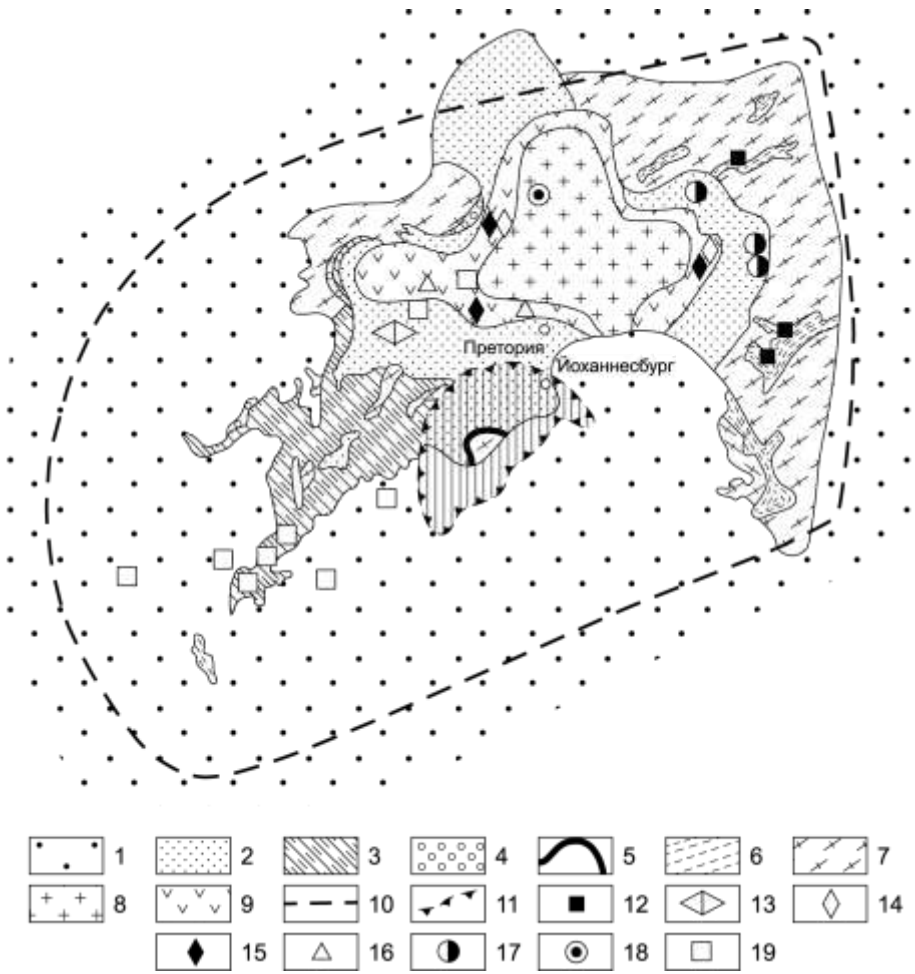
По О. Сулливану (Тишкин и др., 1990)



1 – платформенный чехол; 2 – бушвельдский комплекс; 3, 4 – породы серий: 3 – Вентерсдорп и Трансвааль, 4 – Витватерсранд; 5 – границы: а – прогиба Ранд, б – урановорудной области; 6 – золото-урановые рудные районы (1–3 – соответственно Западный, Центральный и Восточный Ранд; 4 – Клерксдорп; 5 – Одентал-Рюст); 7 – разломы; 8 – оси структур (I – Великой Дайки, II – Бушвельдского интрузива).

Схема геологического строения и рудоносности Каапваальского кратона. Провинция Витватерсранд

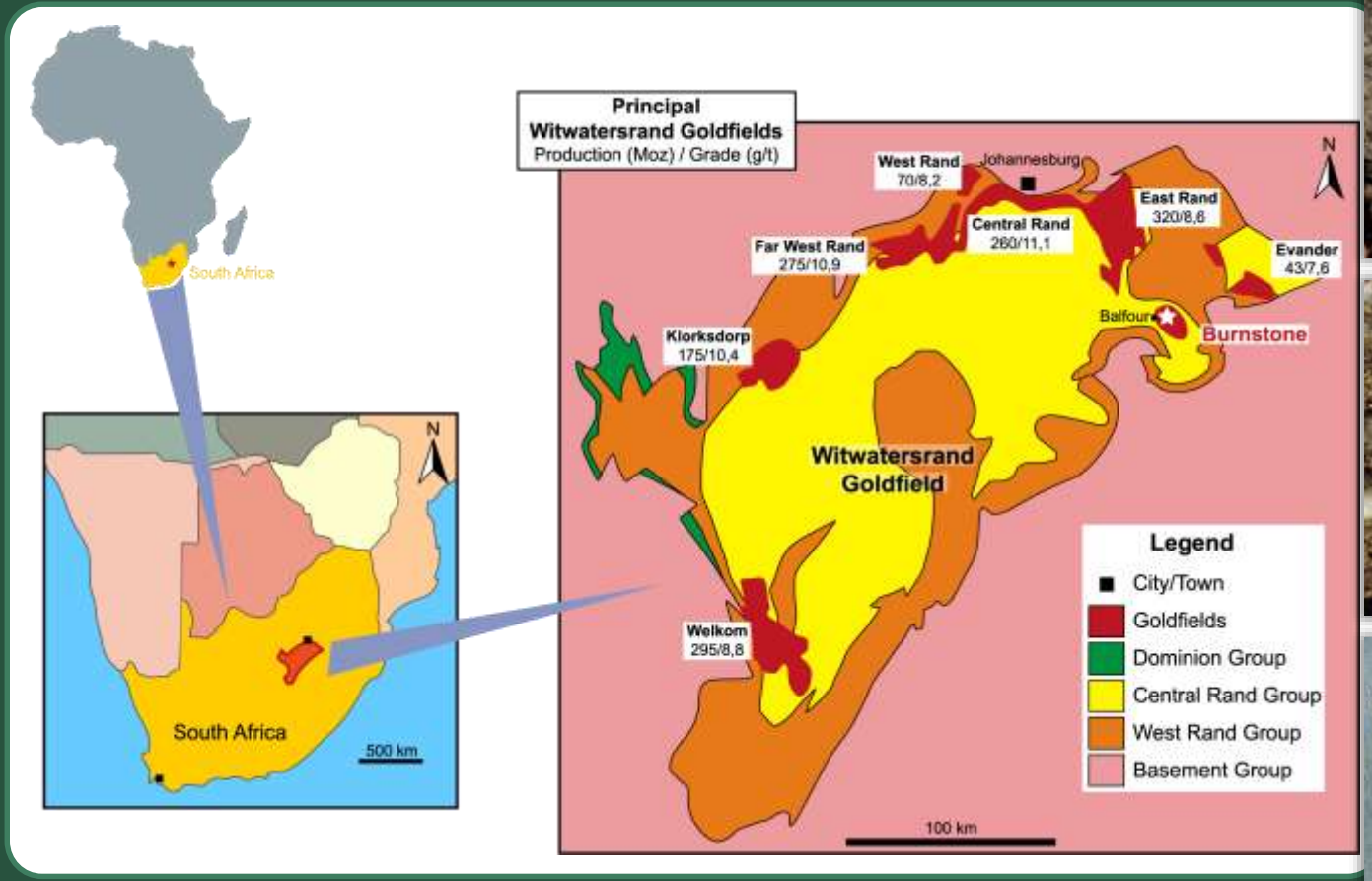
(по Г.В. Афанасьеву и др.,2010 со ссылкой на Т.О. Реймера, П.М. Татаринову и др. [Основы прогноза..., 1986])

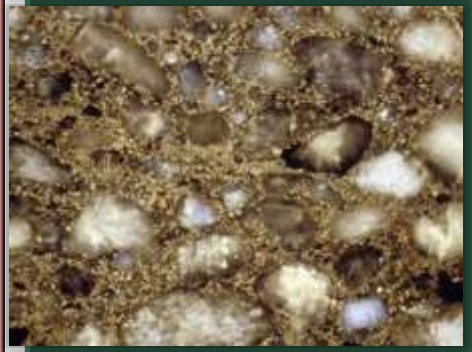


1 – фанерозойские отложения; 2-5 – нижнепротерозойские отложения, системы: 2 – Трансвааль, 3 – Вентерсдорп, 4 – Доминион-Риф, 5 – Витватерсранд; 6 – зелено-каменные пояса; 7 – гранито-гнейсы; 8, 9 – Бушвельдский массив: 8 – красные граниты, 9 – ультраосновные-основные породы; 10 – предполагаемая граница Каапваальского кратона; 11-19 – месторождения полезных ископаемых: 11 – контур развития золото-ураноносных конгломератов Витватерсранда, 12 – золоторудные метасоматические, 13 – железорудные, 14 – хромитовые, 15 – медно-никелево-платиновые, 16 – железо-титановые, 17 – золоторудные жильные, 18 – оловорудные, 19 – алмазные трубки.

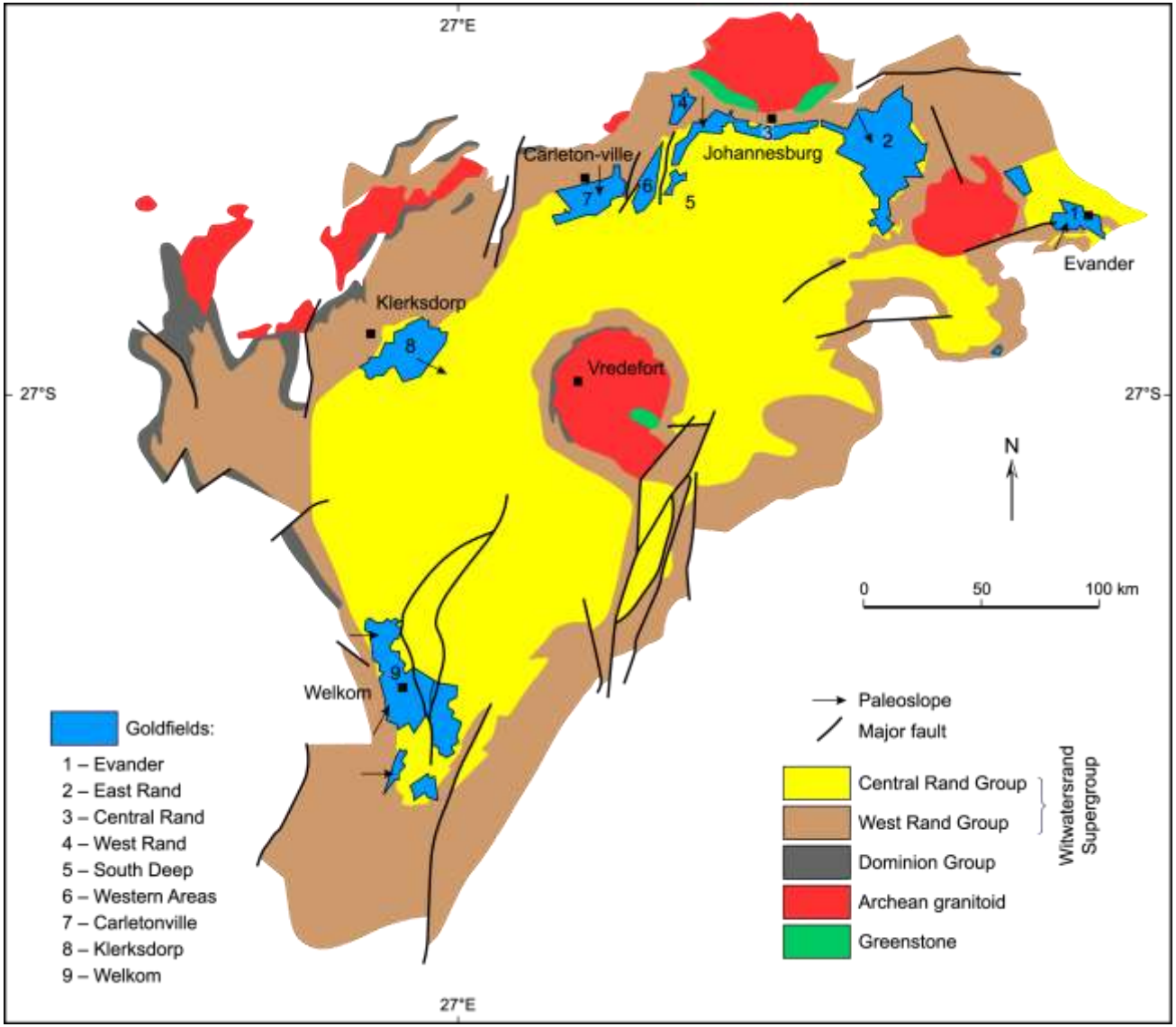
Gisements de type conglomérat (quartz pebble conglomerate)

Witwatersrand (Afrique du Sud)



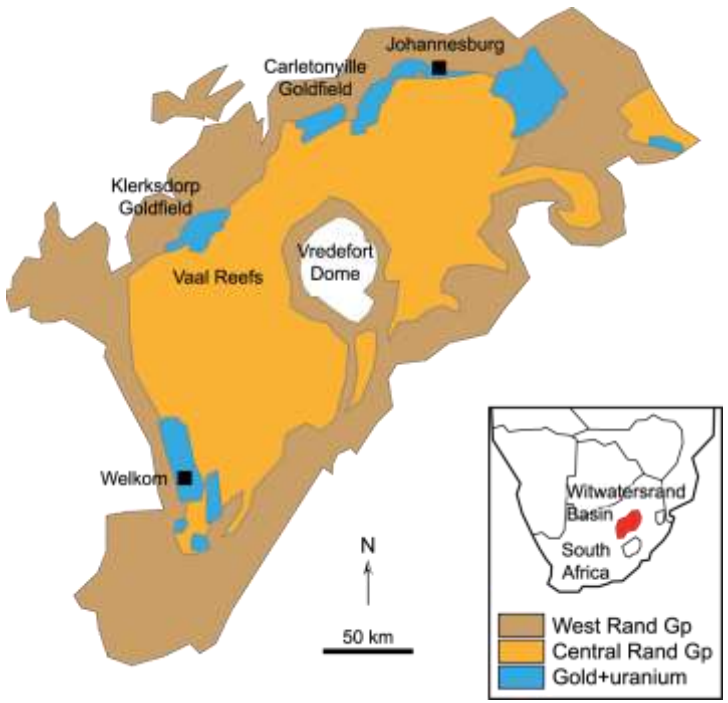


Pre-3.1 Ga Granites – Witwatersrand Basin (S.A.)

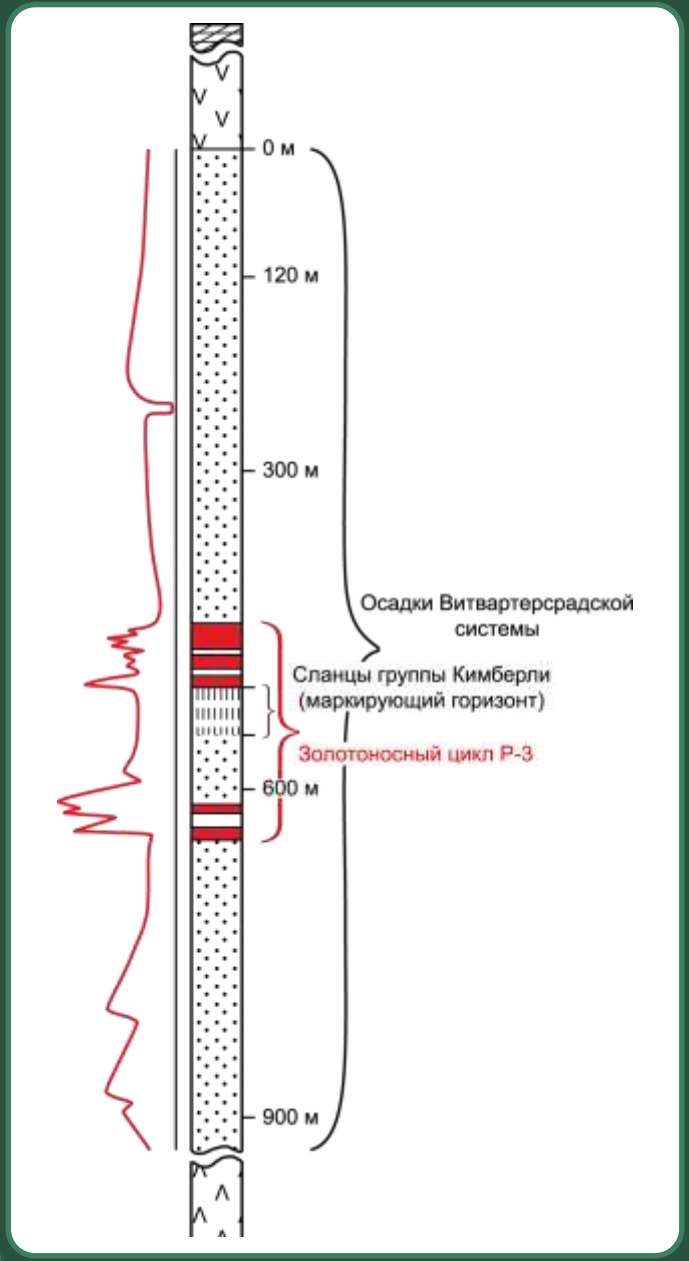


Simplified geologic map of the Witwatersrand Basin showing areas of Au+U mineralization and generalized stratigraphic column showing ages

Modified from Kirk et al. (2001)



Supergroup	Group	Age Ga
Transvaal	Pretoria	2,02
	Churies-poort	
Ventersdorp	Priel	
	Platberg	
	Kiptviers-berg	2,71
Witwatersrand	Central Rand	2,83
		<2,89
	West Rand	2,91
		<2,97
	Dominion	3,07 3,09
Basement		

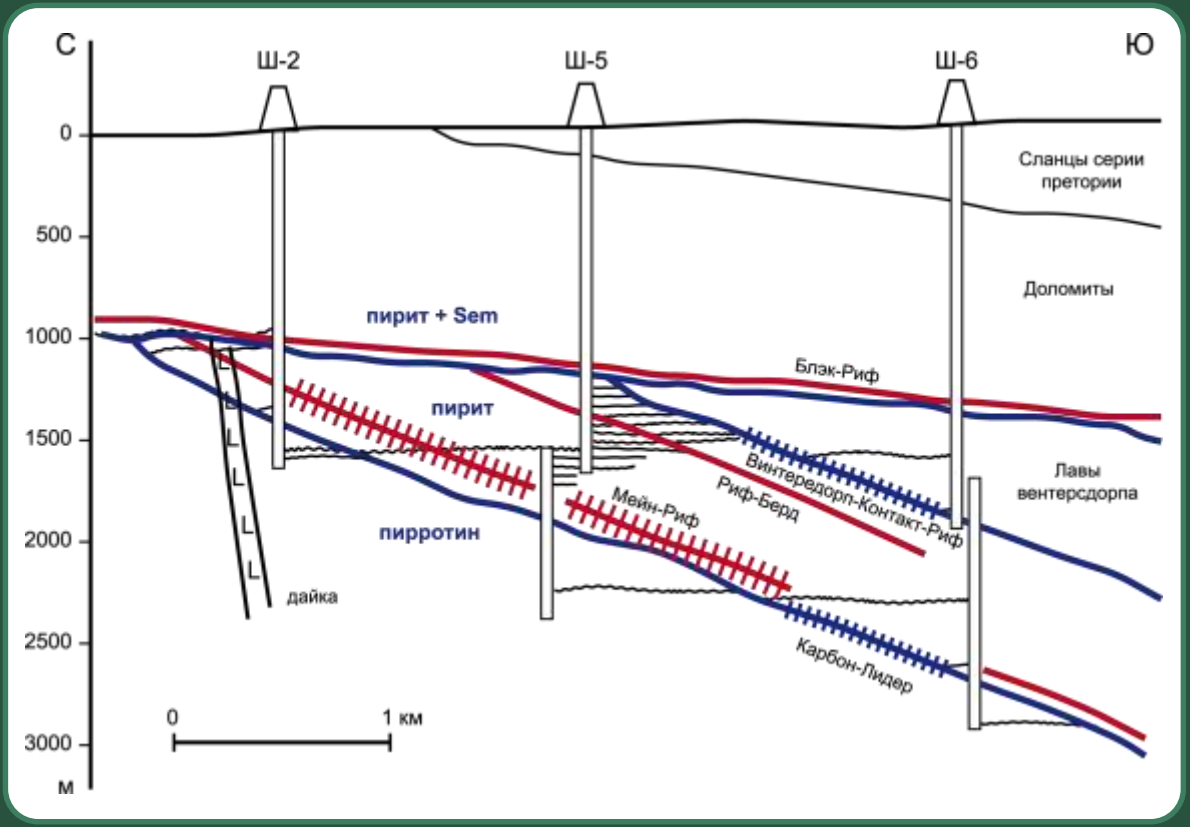


Характерной чертой докембрийских отложений, рудовмещающих для металлоносных конгломератов, является их общая заражённость ураном, а сами месторождения попадают в контур повышенной радиоактивности.

Крупнейший золоторудный район Витватерсранд раз мещается в раннепротерозойском бассейне, сформировавшемся в течение длительного времени в центральной и южной частях кратона Каапвааль. В основании страти графического разреза залегают породы группы Доминион (2,8–2,9 млрд.лет), представленные базальными конгломератами и кварцитами и перекрывающими их основными вулканитами. Выше по разрезу залегают отложения Западного Ранда – это чередование кварцитов с конгломератами, железистыми сланцами, аргиллитами, небольшим количеством железистых кварцитов. Далее следуют кварциты с горизонтами золотоносных конгломератов и редкими прослоями лав основного состава Центрального Ранда. Породы групп Западного и Центрального Рандов объединены в супергруппу Витватерсранд, перекрываемую толеитовыми платобазальтами и бимодальными вулканитами супергруппы Вентерсдорп (2,6–2,1 млрд.лет). Завершается разрез карбонатно-терригенными отложениями группы Трансвааль (2,1 млрд. лет) с золотоносными конгломератами (Блэкриф) в основании.

Схема залегания важнейших рудных горизонтов на Дальнем Западном Ранде и схема их вскрытия

(по Херберту, 1968)



Рудоносные горизонты или слои конгломератов называются **рифами**.

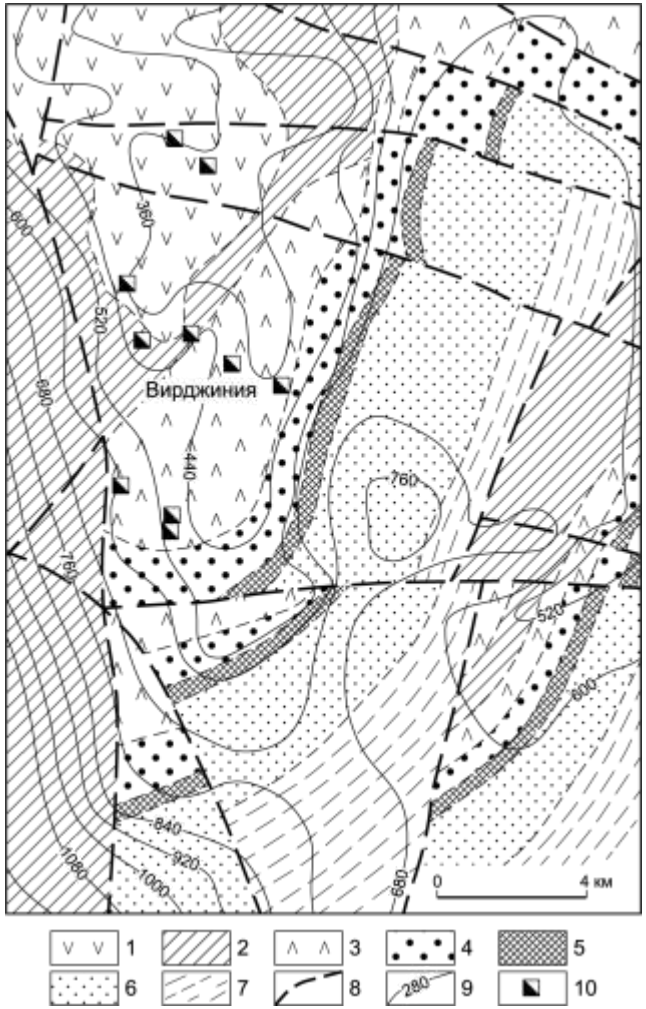
Тонкие пачки кварцитов и алевролитов, обогащенные битумами называются **лидерами**.

Промышленными может быть либо **U**, либо **Au**, либо оба металла вместе.

Кроме этого добываются Os, Ir, Ag, алмазы, пирит **Ag – 55 т/год (1957)**.

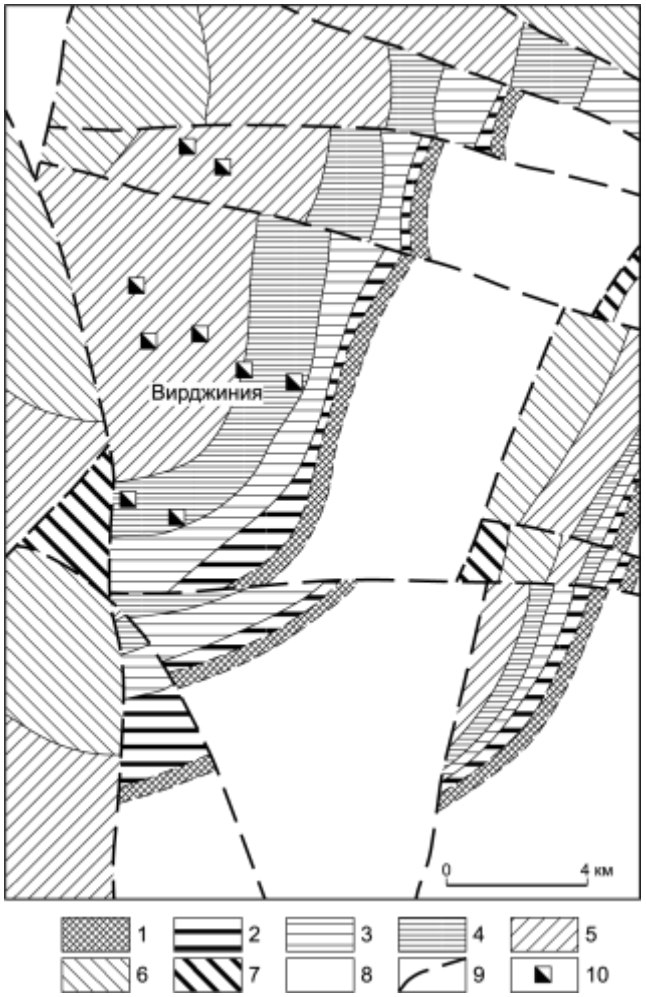
Геологическая карта района месторождения Вирджиния

(со снятыми отложениями системы Карру)



1-3 – нижнепротерозойская система Вентерсдорп: 1 – верхние андезитовые лавы, 2 – туфогенные сланцы, кварциты и сланцы, 3 – нижние андезитовые лавы; 4-7 – нижнепротерозойская система Витватерсранд: 4 – кварциты, гравелитистые конгломераты, 5 – кварциты, конгломераты, в том числе золото-ураноносные рифы Лидер, Базальный и др., 6 – кварциты, метапесчаники, 7 – сланцы; 8 – разломы; 9 – изогипсы подошвы системы Карру, м; 10 – рудники.

Глубинное положение толщи золото-ураноносных конгломератов района месторождения Вирджиния



1 – выходы конгломератов на поверхность подошвы отложений системы Карру; 2-7 – глубины залегания конгломератов, км: 2 – до 0,8 км, 3 – 0,8-1,2 км, 4 – 1,2-1,6 км, 5 – 1,6-2,4 км, 6 – 2,4-3,2 км, 7 – более 3,2 км; 8 – отложения, подстилающие золото-ураноносные конгломераты; 9 – разломы; 10 – рудники.

Породы бассейна подверглись метаморфизму в условиях зеленосланцевой фации, а примыкающиек поднятию Вредефорт в центральной части бассейна, метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации из-за контактового воздействия гранитов.

Мощность разреза (исключая группу Трансвааль) составляет более 14 км.

Конгломераты слагают 16 самостоятельных рифов и выходят на поверхность в северном, северо-западном и северо-восточномбортах бассейна, а также вблизи купола Вредефорт, расположенного в центре бассейна.

1. Продуктивные горизонты конгломератов имеют различные строение и мощность. Они часто перемежаются с кварцитами или представлены слоями с галькой разных размеров. Конгломераты с крупной (более 15–20 см) галькой, а также гравеллиты, редко содержат промышленное оруденение. В месторождениях Витватерсранда золотое и урановое оруденение обычно приурочено к нижней части конгломератовых горизонтов мощностью 10–30 см.

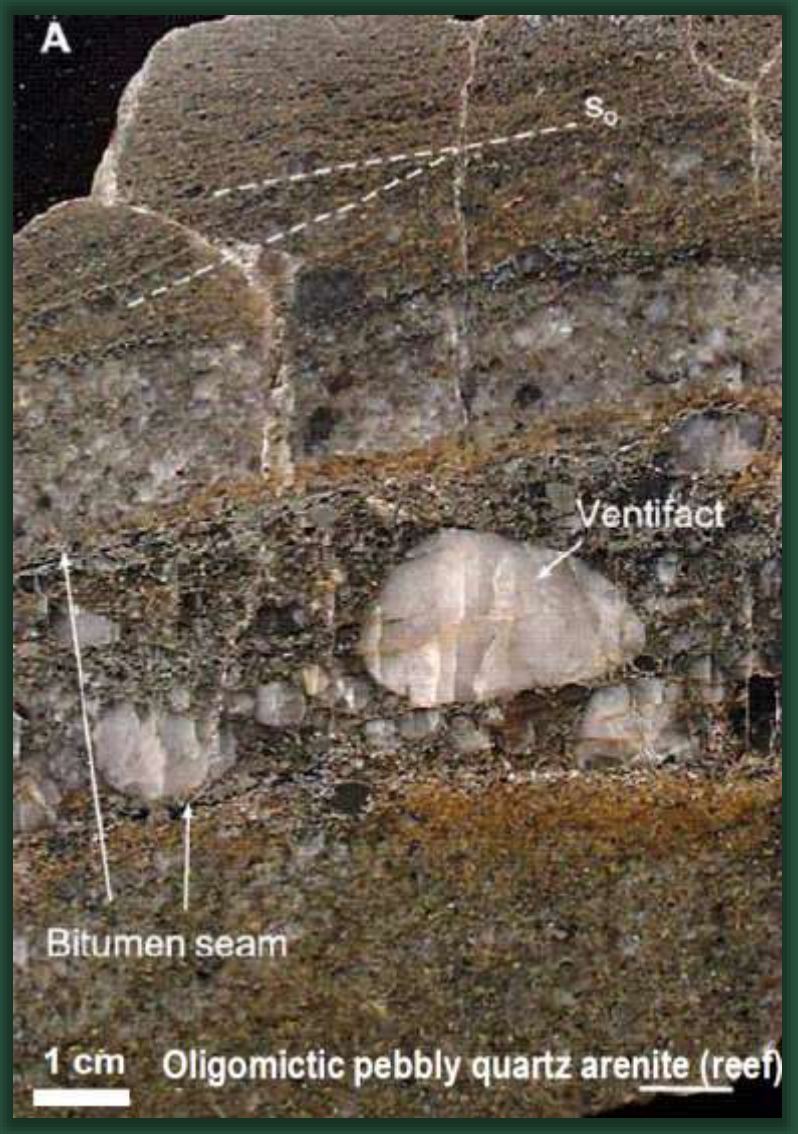
2. В рудных полях наряду с промышленными горизонтами отмечаются рифы с низкими содержаниями или спорадическим распределением золота.

3. Конгломераты с промышленным AuU оруденением характеризуются наличием сульфидной минерализации, представленной пиритом, пирротином и другими сульфидами. Иногда отмечается зависимость количества сульфидов в цементе конгломератов со степенью их металлоносности.

4. Отличительной особенностью вещественного состава золотоносных конгломератов является наличие плотного сульфидно-кварцевого цемента, состоящего из хлорита, серицита, эпидота, карбонатов и органического вещества сложного состава. Пирит – наиболее распространенный минерал цемента, реже встречаются пирротин, марказит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, блеклые руды и др.

Золото образует небольшие выделения (0,1 мм) неправильной формы. Кроме золота в рудах отмечаются серебро, платиноиды, уран и алмазы.

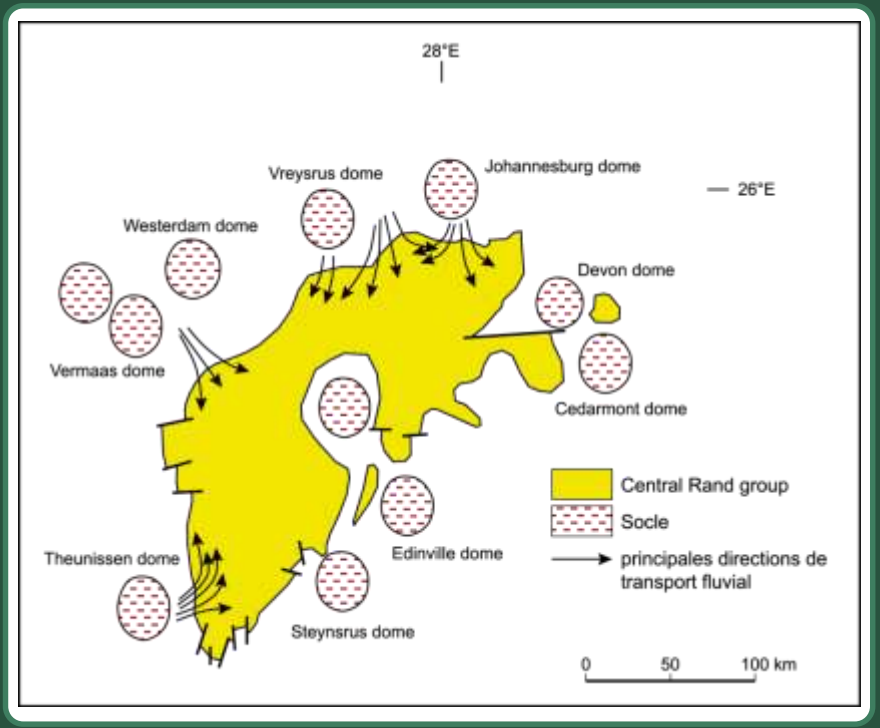

B
Upper placer contact
Pyrite
Lower placer contact
Vaal Reef, Stilfontein mine, Klerksdorp gold field
Minter, 2005

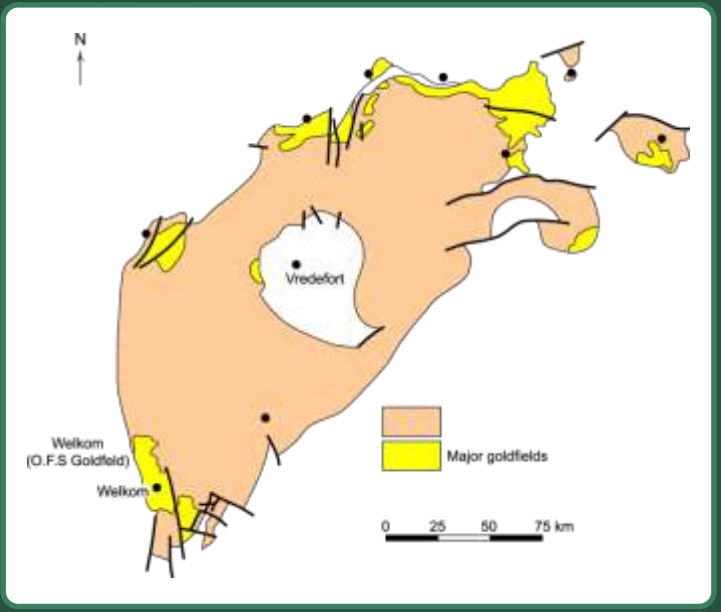

A
S_0
Ventifact
Bitumen seam
1 cm
Oligomictic pebbly quartz arenite (reef)

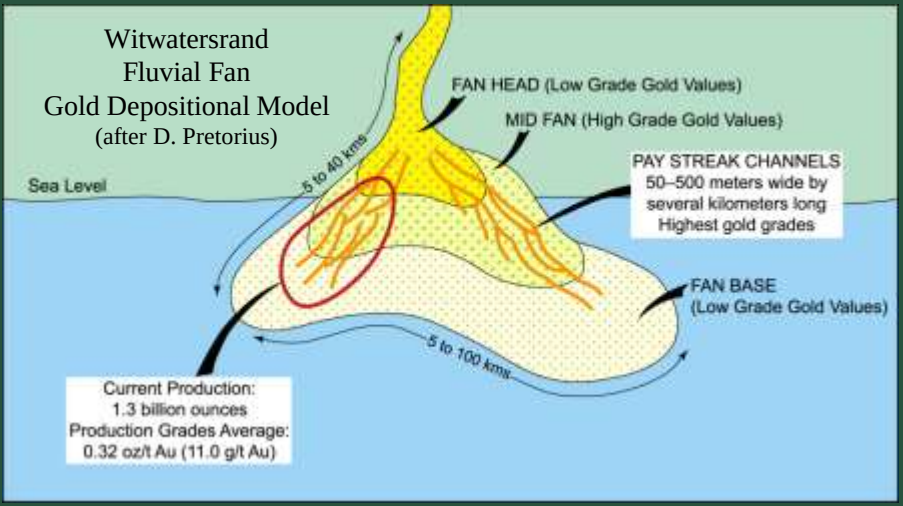
Gisements de type conglomérat

(quartz pebble conglomerate)

D'après Minter et al, 1967

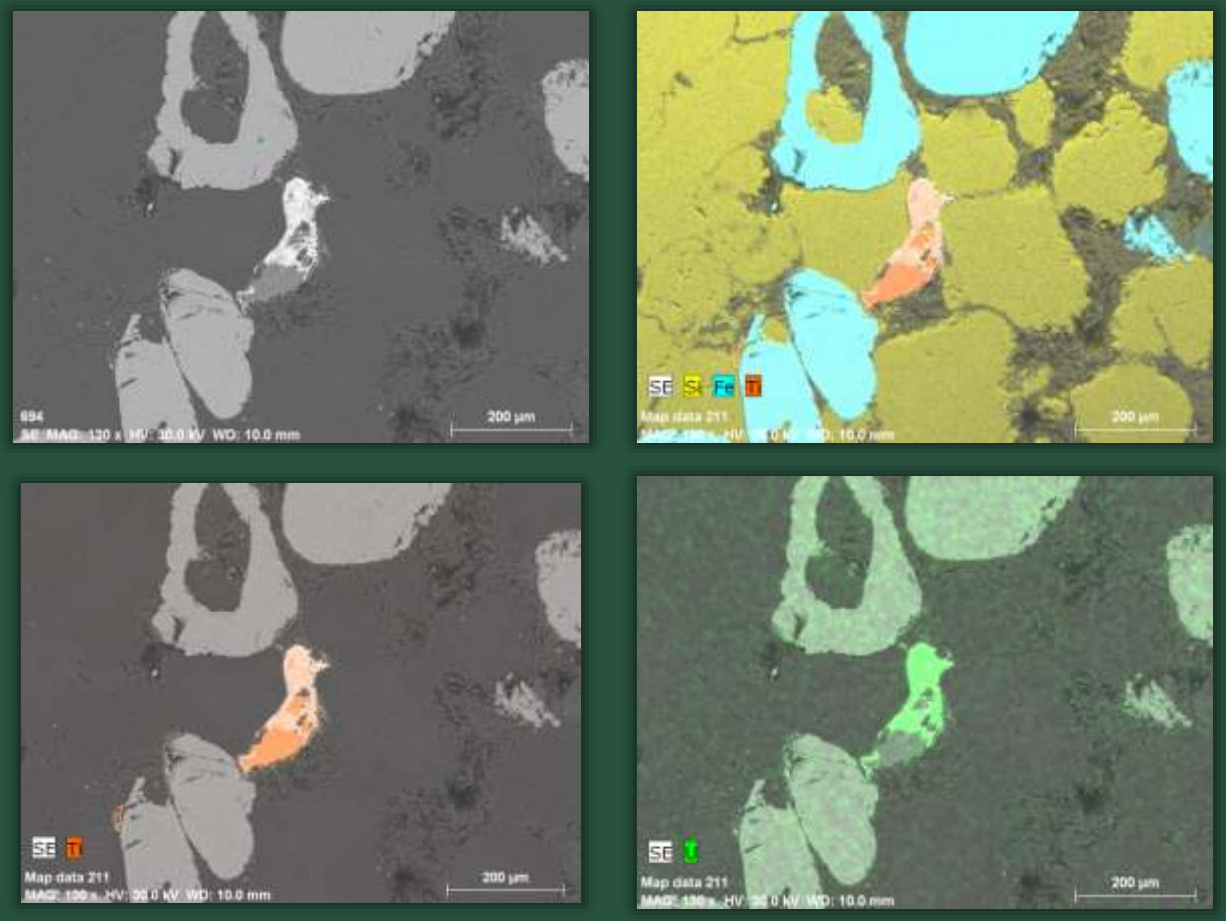






Пространственная взаимосвязь Ti и U в конгломератах Витватерсранда

Возможно реакция типа Пронто



Электронный микроскоп Hitachi

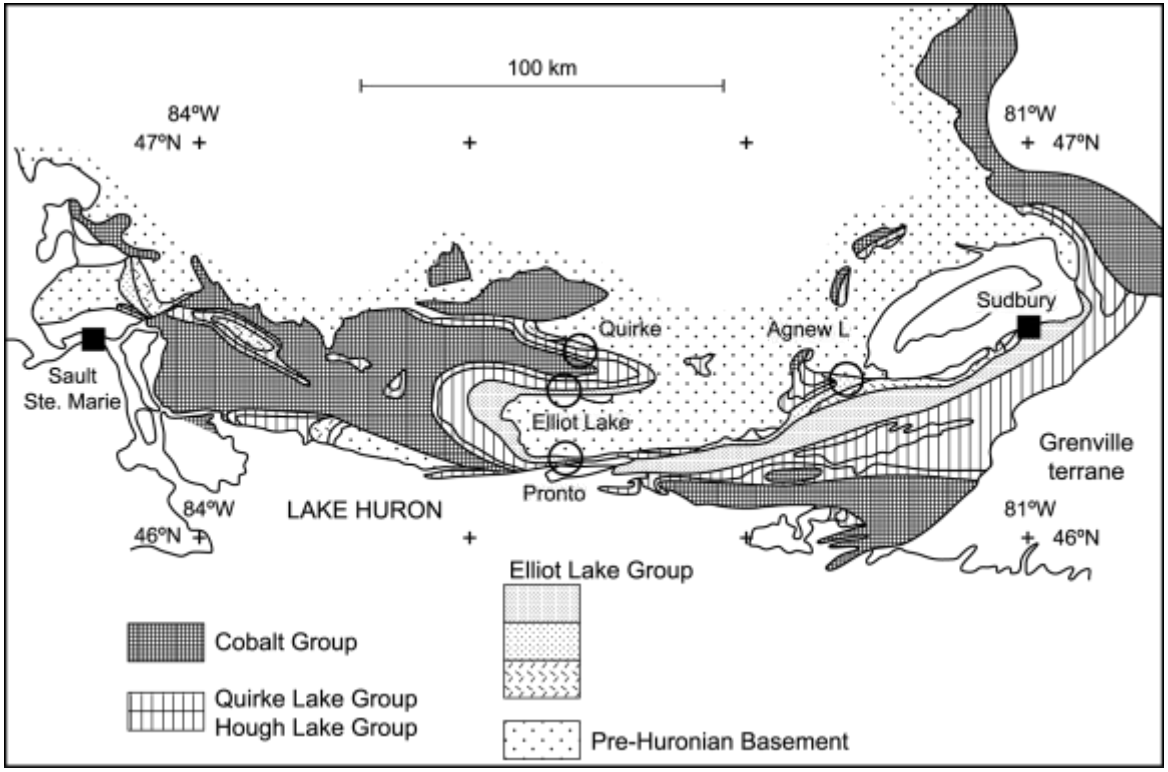
Размещение рудных полей района Блайнд-Ривер

(по Дери, 190)

Гуронские отложения прорваны дайками и перекрыты эффузивами, обогащенными ураном.

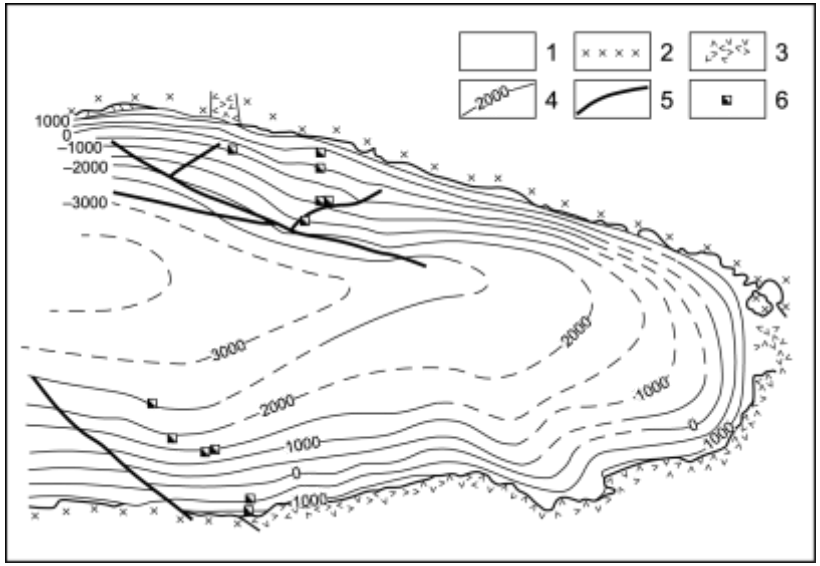
Канадская провинция типично урановая, хотя Au проявления многочисленны.

Входит в состав Гуронского рудного пояса, дающего 83% Au, 40% – Ag, 85-90% – Cu, 100% – Ni, Pt. Co Канады!!!

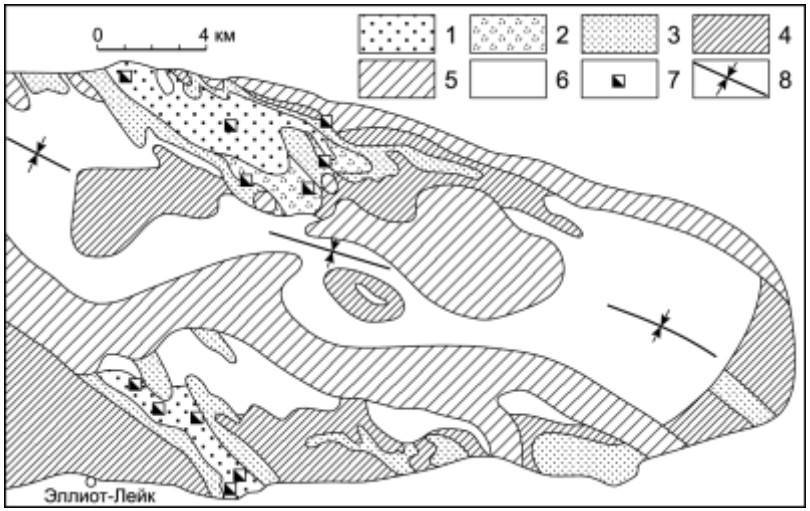

100 km
84°W
47°N
81°W
47°N
Sudbury
Quirke
Agnew L.
Sault
Ste. Marie
Elliot Lake
Grenville
terrane
Pronto
84°W
46°N
LAKE HURON
81°W
46°N
Elliot Lake Group
Cobalt Group
Quirke Lake Group
Hough Lake Group
Pre-Huronian Basement

Положение ураноносных конгломератов в формации Матиненда

(по Г.В. Афанасьеву и др., 2010 со ссылкой на Казанский и др., 1986)



А – рельеф догуронского фундамента: 1 – гуронские отложения; 2 – архейские гранитоиды; 3 – архейские зеленокаменные породы; 4 – изолинии по основанию формации Матиненда (0 – уровень моря); 5 – уступы фундамента; 6 – шахты.



Б – распределение уранового оруденения в формации Матиненда: 1 – урановорудные конгломераты; 2 – урановые руды с высоким содержанием тория; 3 – радиоактивные конгломераты; 4 – кварциты с прослоями конгломератов; 5 – кварциты; 6 – неизученные площади; 7 – шахты; 8 – ось синклинали.

Некоторые особенности размещения урановой минерализации в районе Блайнд-Ривер

Радиоактивная минерализация Блайнд-Ривера встречается также в тонкозернистом полевошпатном кварците и в альбитите.

Полевошпатовый кварцит состоит из Ser, Alb, Qv, Bi и детритового Qv.

Альбититы занимают в стратиграфическом разрезе положение конгломератов. Они переходят постепенно в нормальные зеленые кварциты.

Радиоактивность возрастает с увеличением красной окраски. Мощность зоны изменяется от см до 4 м.

Рудное тело на руднике Нордик прослежено по простиранию на 1200 м. по падению на 600 м.

Мощность рудных тел ~ 3 м.

В рудах иногда Cu, Co.

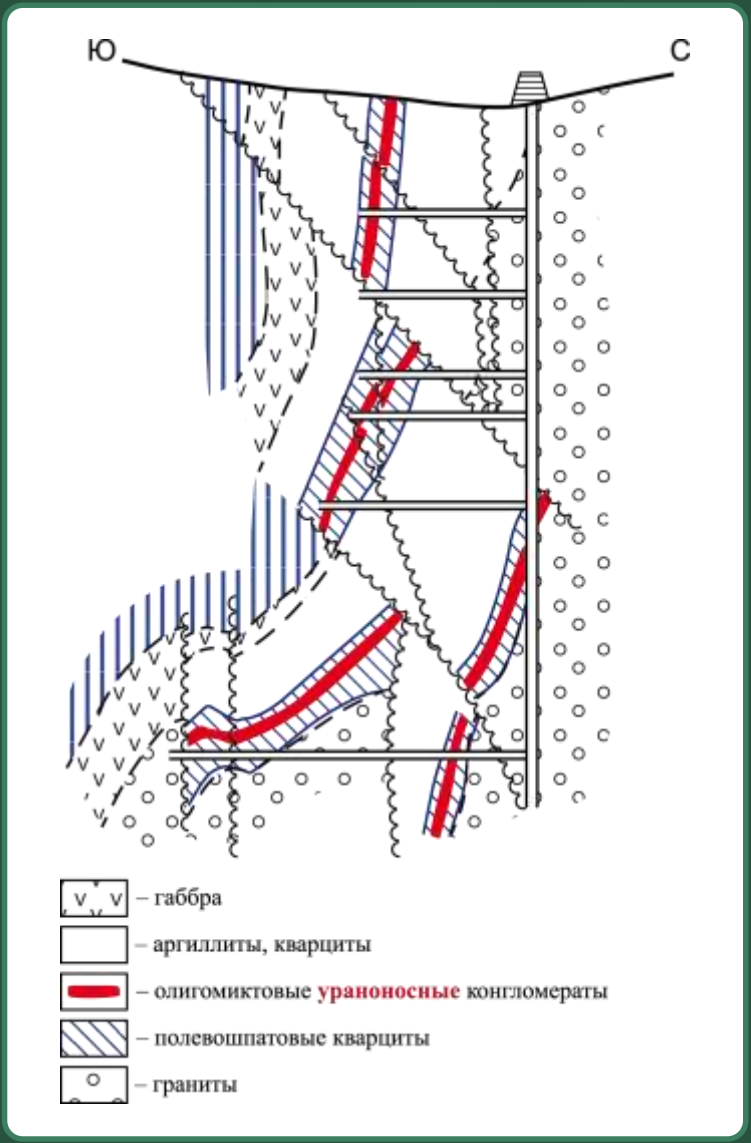
Рудоносные конгломераты подвергаются изменению, в первую очередь замещается цемент.

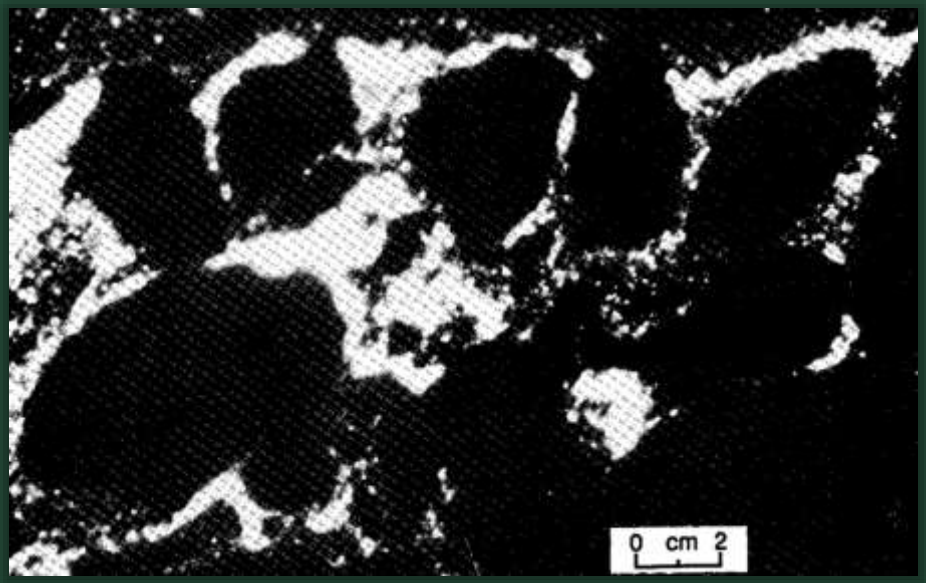
Альбитизация, Карбонатизация.

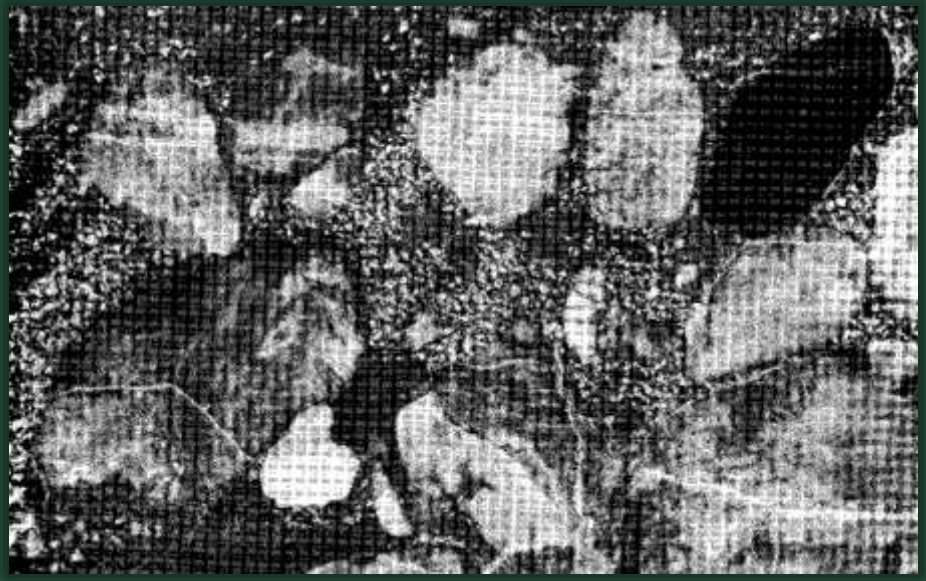
Породы превращаются в оранжево-розовую массу, внешне напоминающие «СИЕНИТ» (Дери, 1960).

Он же отмечает: «Странно, но уран не был вынесен и остался в первоначальном положении в стратиграфическом разрезе. Хотя местами он сосредоточен (как бы «сжат»).

Положение ураноносных конгломератов на руднике Агнью-Лейк



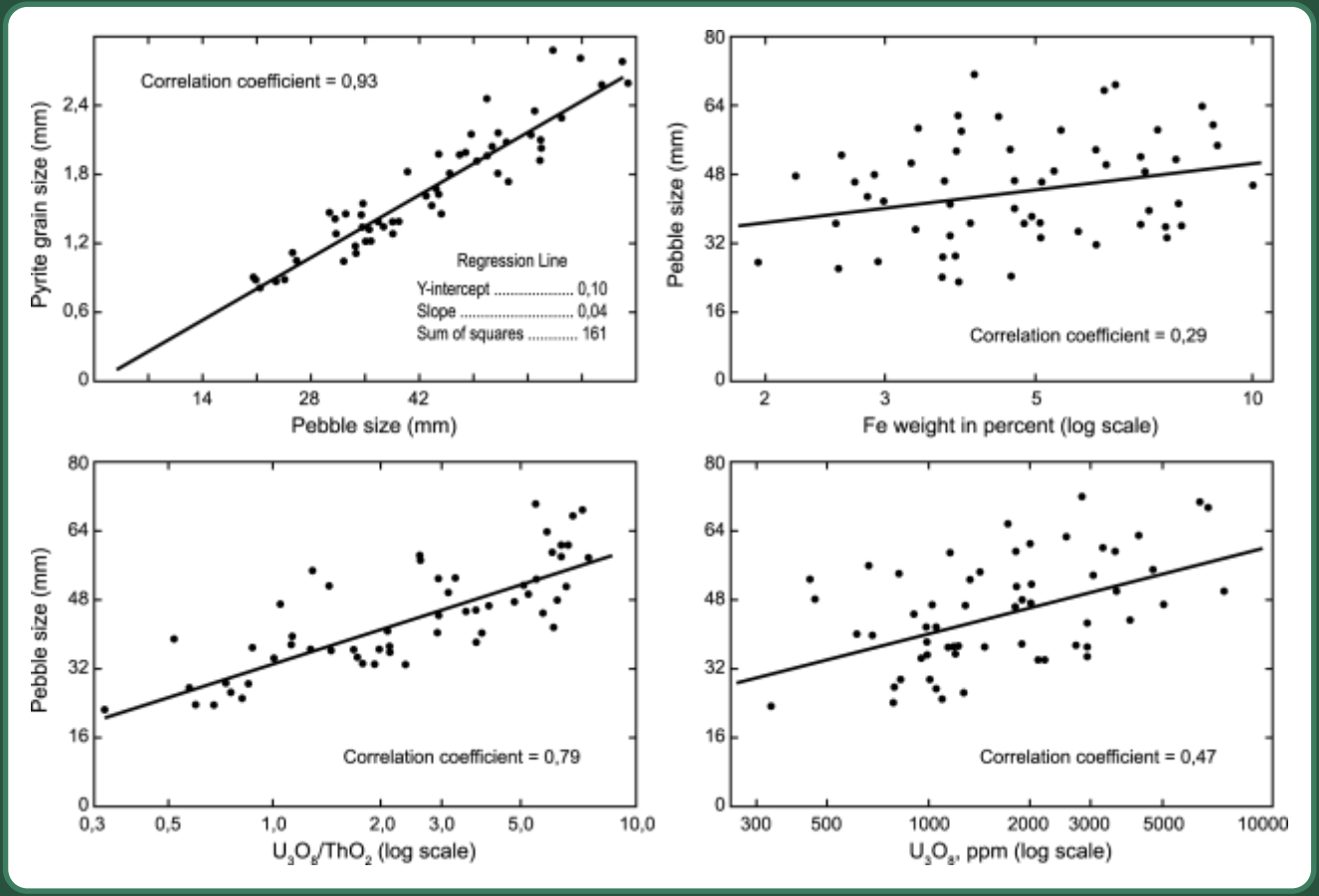


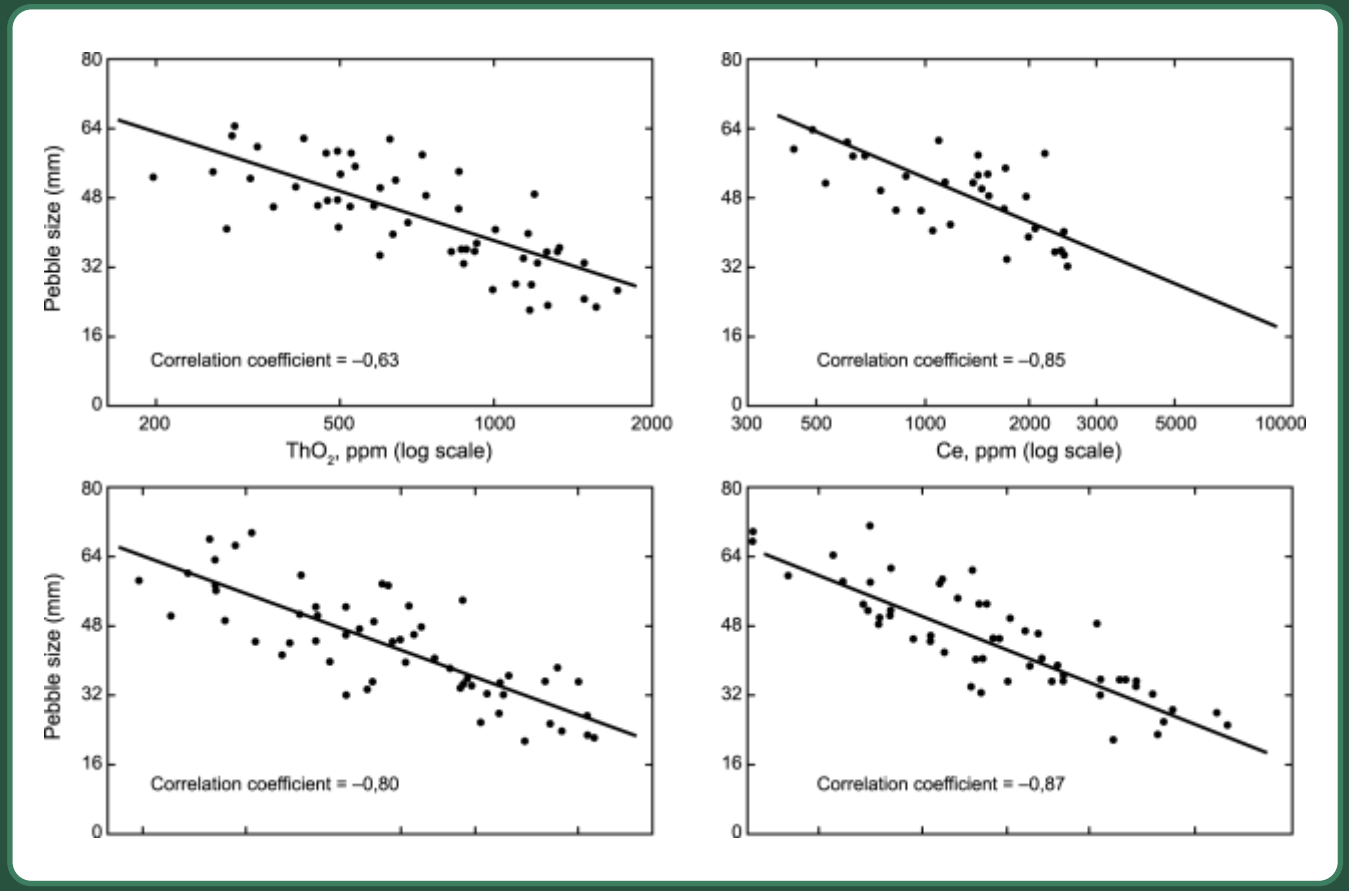


Радиография (верхний снимок) ураноносного конгломерата (нижний снимок) из зоны озера Квирик месторождения Элиот-Лейк (Канада). Отчётливо видно, что урановая минерализация находится в цементе (по Roscoe a.e., 1993).

Гидравлическая сортировка тяжёлых минералов. Район Элиот-Лейк, Канада

(по S.Roscoe a.e., 1993)




Pebble size (mm)
80
64
48
32
16
0
Correlation coefficient = –0,63
200
500
1000
2000
ThO2, ppm (log scale)
Correlation coefficient = –0,85
300
500
1000
2000
3000
5000
10000
Ce, ppm (log scale)
Correlation coefficient = –0,80
Correlation coefficient = –0,87

Рудное поле Канавиэйрас (Жакобина)

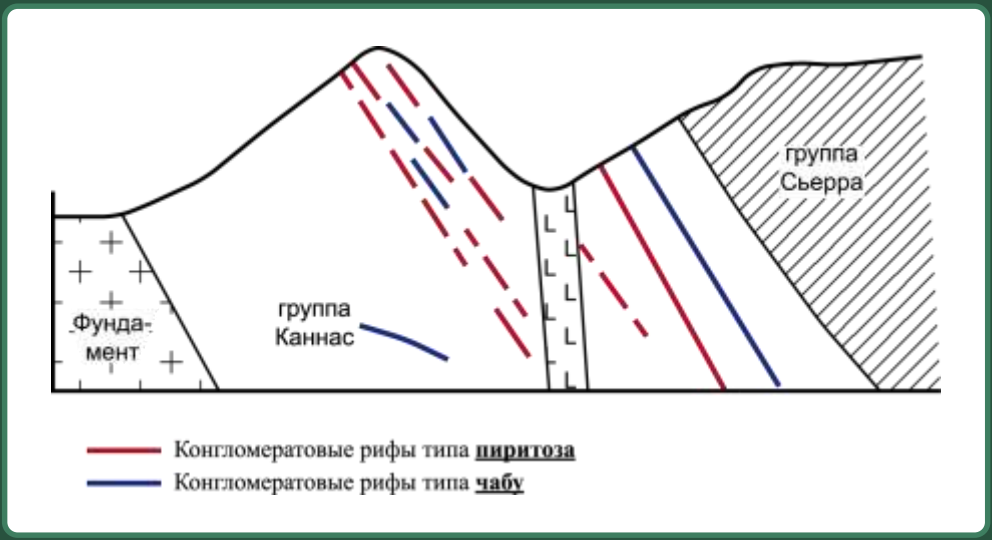
В рифах типа Чабу мало пирита, но много серицита и хлорита. Галька много крупнее. Они слабо золотоносны.

Главное Au и U в рифах типа пиритоза Au – сульфидное оруденение в ряде случаев контролируется тектоникой и не приурочено к каким-либо литологическим разностям (рудник Моро-де-Венто, Уайт, 1961)

На руднике Сьерра-Бранка Au вскрывается в жилах и зонах, параллельных напластованию.

Иногда Au вдоль контактов даек.

Геологический разрез через рудное поле Канавиэйрас (Жакобина, Бразилия)



Генезис металлоносных конгломератов

На генезис U, Au-U месторождений типа Витватерсранд, Блайнд-Ривер уже более столетия существует несколько точек зрения.

1. Металлоносные конгломераты – как древние метаморфизованные россыпи (с начала XX века) (Рамдор, Либенберг, Нелл, Холмс, Робертсон, Роско, Дери и др.)
2. Осадочно-метаморфогенное происхождение металлоносных осадков в результате химического осаждения рудного вещества и последующего метаморфизма (Симсон)
3. Инфильтрационное происхождение оруденения металлоносных осадков (Мак-Грегор, Бейн, Катаяма и др.)
4. Гидротермальное происхождение (Грейтон, Бетман, Мак-Келви, Эверхард, Гаррелс, Хейнрих, Девидсон и др.)

Дискуссия продолжается !!

Главный тип руд – **рудные конгломераты**.

Это не непрерывные пласты, а полосы, линзы. Ниаболее крупное тело вытянуто в виде извилистой полосы длиной 1 350 м, шириной – 300 м., мощностью от нескольких см до 1,5 м (средняя 0,3 м)

Штокверковые зоны, или зоны импреньянции. Образуют крупные тела и зоны без хорошо выраженных ограничений. Они связаны с зонами дробления и скольжения. Отмечаются во всех типах пород основания (AR). Py, Pyzt, Au.

Пластовые жилы представляют крупные тела в пределах Трансвальской системы (выше Витватерсарнда). Жилы следуют почти точно напластованию и протягиваются до 20 км. Жилы часто сопровождаются пластовыми интрузиями основного состава. Qu, Py, Au.

Жильные месторождения многочисленны, чаще всего в гранитах иногда пересекаются доломиты системы Трансвааль. Qv, Kal, Dol, Cl, Au, Py, a/Py, антимонит.

«Удивительно, почему до сих пор ставится вовпрос о первичном осадочном генезисе Au оруденения в конгломератах при наличии такого большого количества месторождений явно гидротермального генезиса в той же структуре !!!»

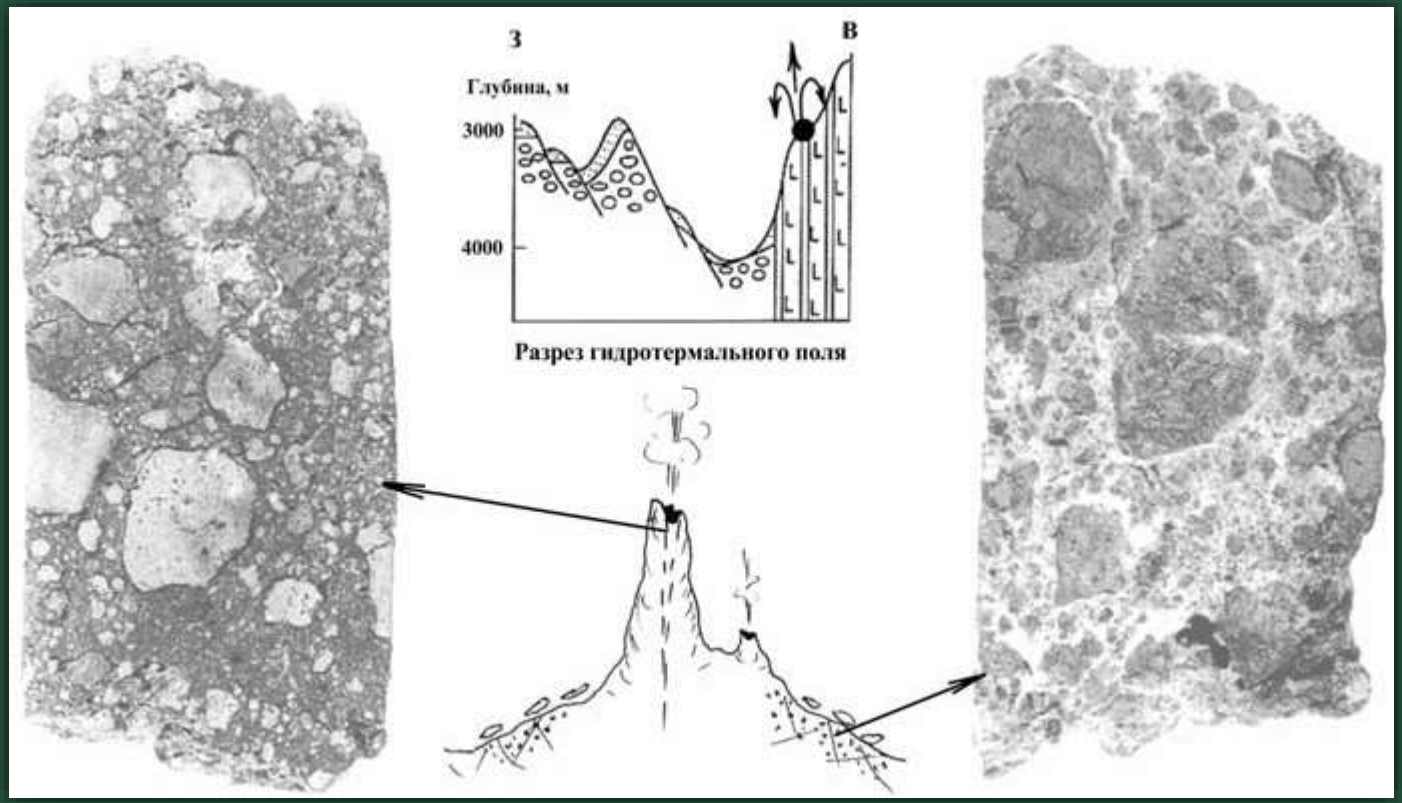
(Ф.П. Кренделев)

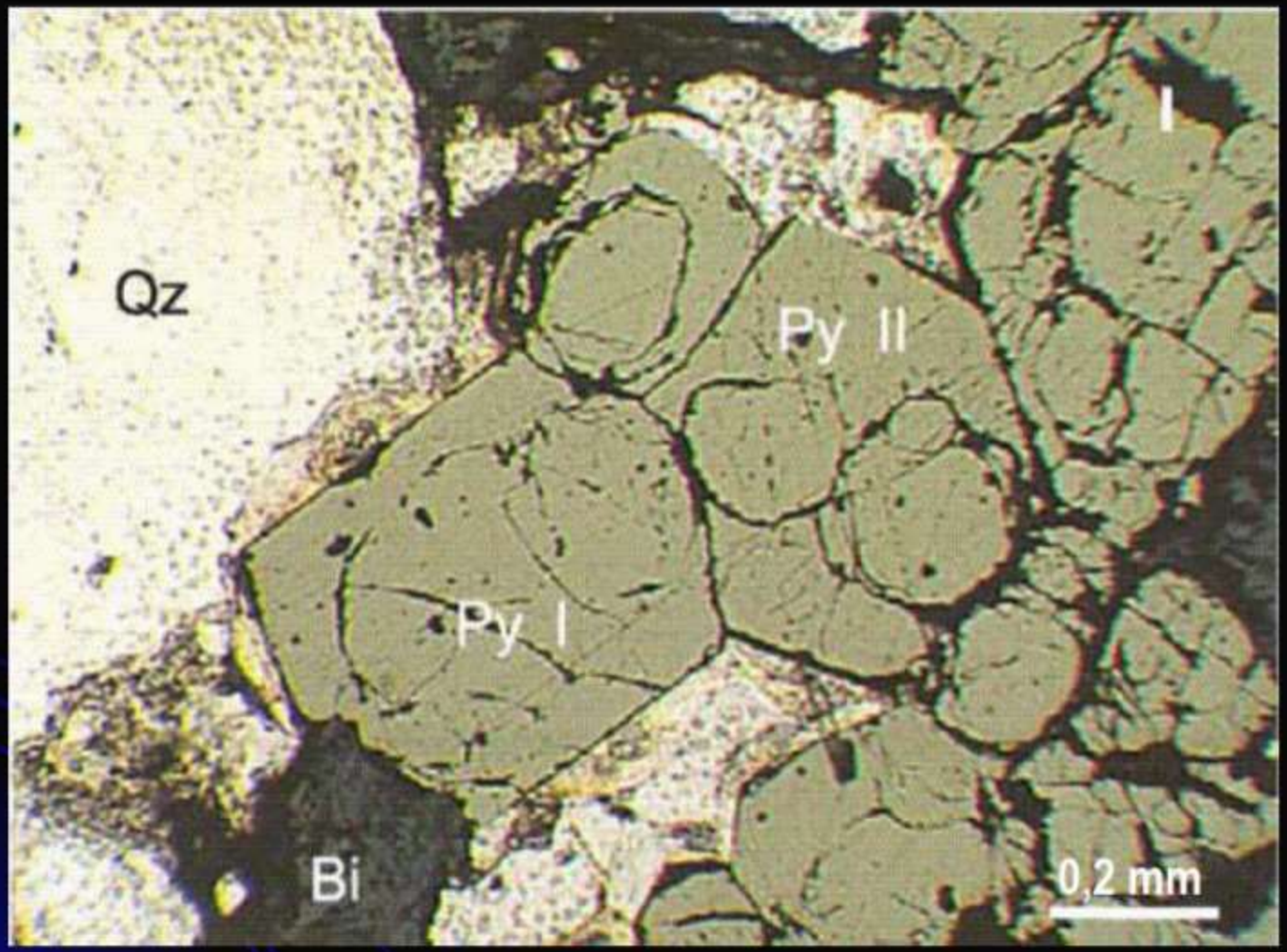
DETRITAL ORIGIN

- Most uraninite crystals rounded, enclosed, or partly replaced by bitumen
- Rich in Th (av. = 3.9 wt.%): inconsistent with a low-T hydrothermal origin but indicative of granitic to pegmatitic sources
- Great variation of Th/U ratio = provenance from a variety of source rocks
- REE patterns typical of magmatic uraninite
- Gold particles dated par Re-Os at 3 Ga

Also: postdepositional newformation brannerite, pitchblende, U-leucoxene = mobilisation of earlier, rounded uraninite (England et al., 2001a)

Разрез современного «черного курильщика» с деталями структур сульфидных руд из осевой и периферийной зоны





Euhedral pyrite overgrowths around rounded cores (Py I), Ventersdorp Contact Reef, Klerksdorp gold field

Frimmel, Earth-Sci Rev 70 (2005) 1–46

Учебный курс: «Месторождения РАЭ»

ЗОЛОТО-УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ КОНГЛОМЕРАТАХ