



Применение результатов изучения тектонических напряжений в рудной геологии

Сим Л.А.
ИФЗ РАН

Полярный (массив Рай-Из, Васильев, Каплин, Сим) и Приполярный Урал (Сим)

На Приполярном Урале производилась спецгеологическая съемка м-ба 1:200 000 объединением «Аэрогеология» для уточнения условий формирования месторождений горного хрусталя.

Тектонофизический отряд МГУ (отв. исполнитель Сим Л.А) производил изучение разломной тектоники и тектонических напряжений.

Н.Ю. Васильев и О.А.Каплин изучали напряженно-деформированное состояние Райизского хромитоносного поля; Л.А.Сим также изучала тектонические напряжения на Рай-Изе. Совместные результаты исследований будут обсуждаться после особенностей взаимосвязи тектонических напряжений и хрусталеносности Приполярного Урала.

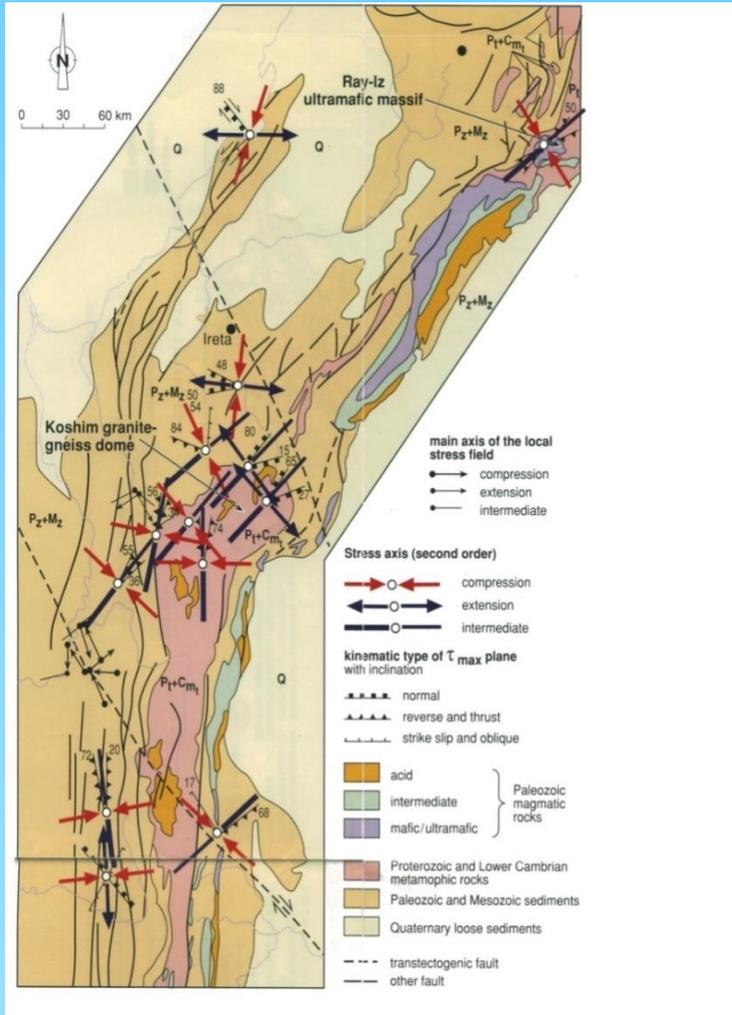
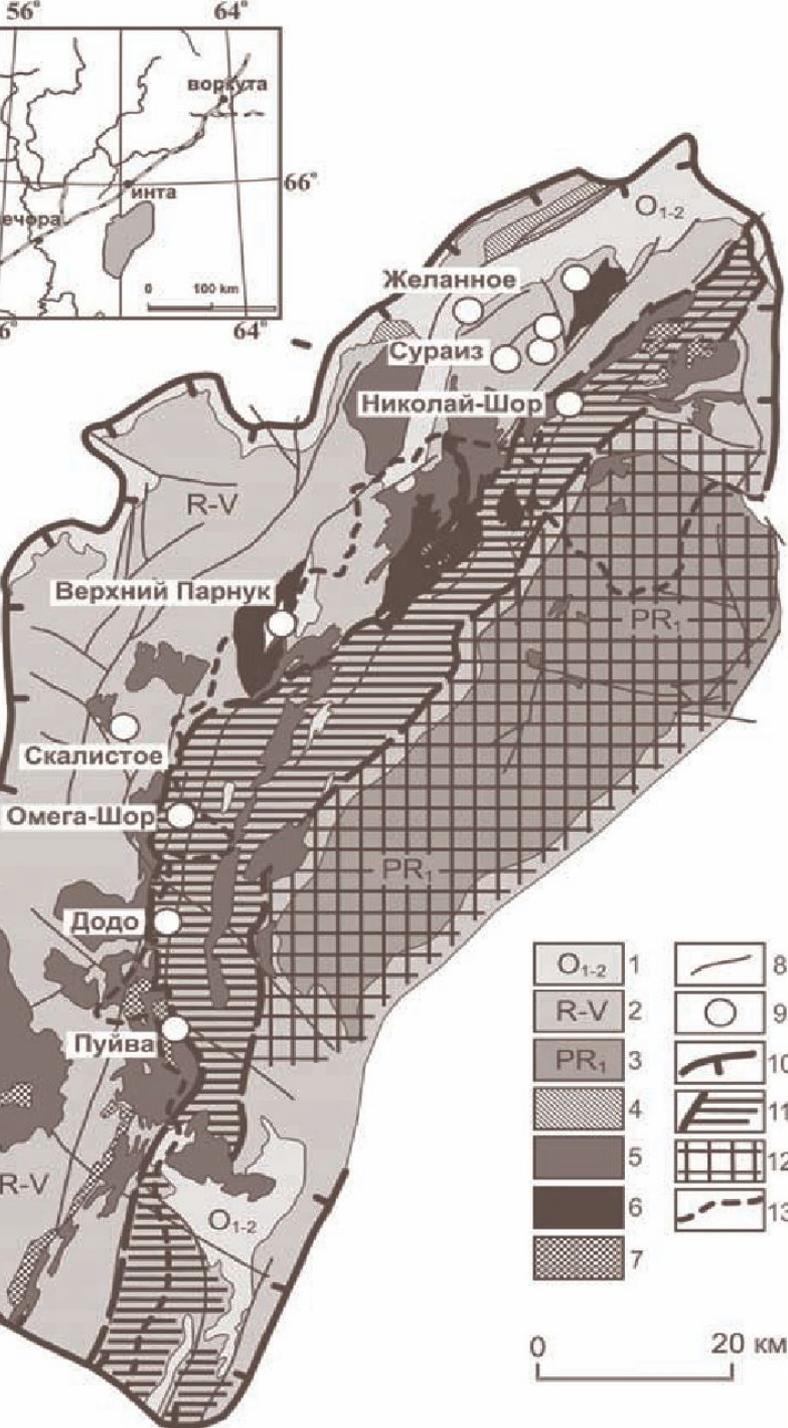


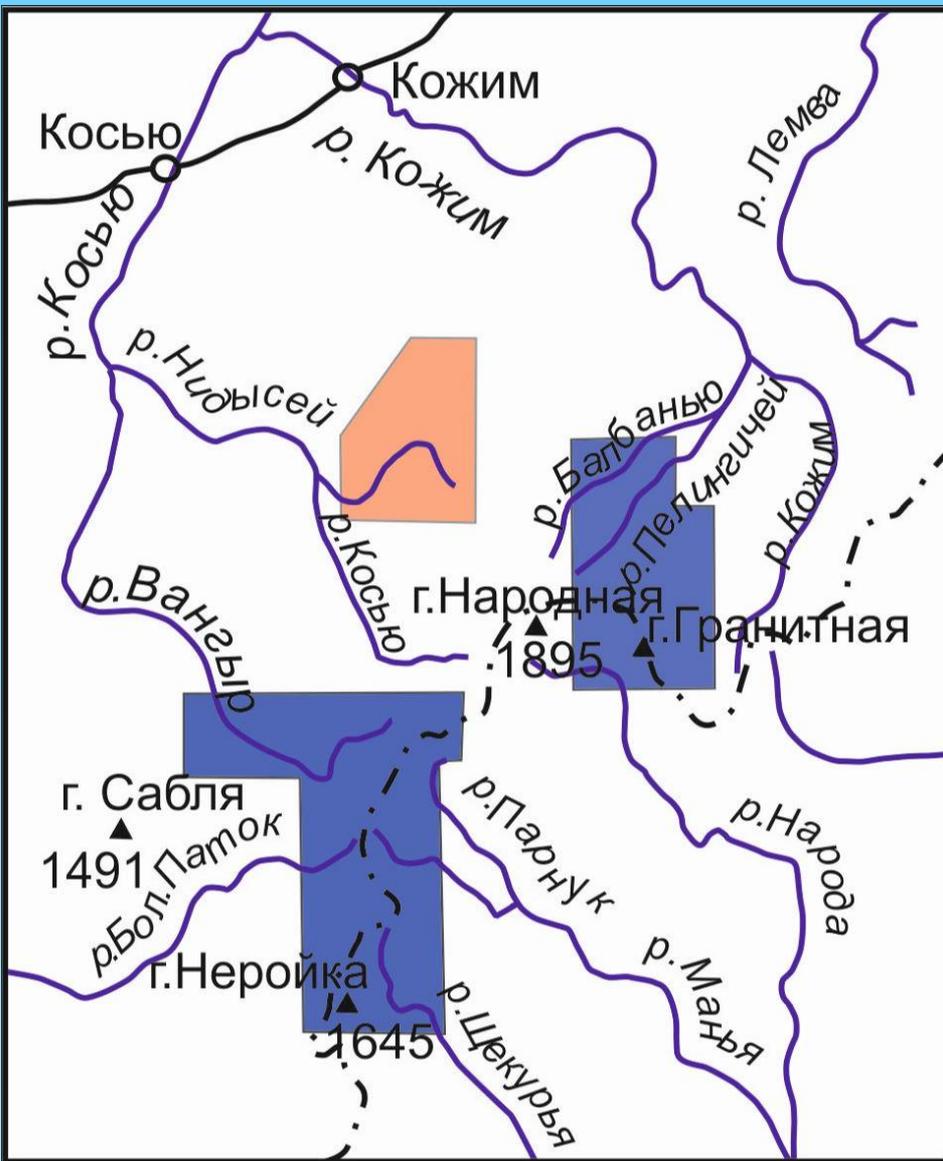
Схема геологического строения Приполярноуральской провинции

(составлена С.К. Кузнецовым, П.П. Юхтановым, В.П. Лютоевым, 2007)

1 — ордовикские отложения: кварцито-песчаники, кварцевые конгломераты, серицит-хлорит-кварцевые сланцы, известняки (обеизская, саледская, кожимская свиты); 2 — рифей-вендские отложения: серицит-хлорит-кварцевые, серицит-кварцевые сланцы, прослои и линзы мраморов, кварцитов, кварцевых конгломератов, кислые и основные эффузивы (маньхобеинская, пуйвинская, хобеинская, мороинская, саблегорская свиты); 3 — кристаллические сланцы и гнейсы няртинского комплекса; 4 — риолиты; 5 — гранитоиды; 6 — гранодиориты; 7 — габбро, габбро-5диабазы; 8 — тектонические нарушения; 9 — **основные месторождения жильного кварца и горного хрусталя**; 10 — контуры развития слабопрозрачного гигантозернистого кварца; 11-12 — площади развития кварца: 11- высокопрозрачного (стекловидного) гигантозернистого, 12 — гранулированного кварца; 13 — граница западного и восточного склонов Приполярного Урала



О хрусталеносности Приполярного Урала



На основании расчета плотности месторождений и проявлении гнезд горного хрусталя нами вся провинция была разделена на 3 части с условными названиями:

Пелингичейский блок (I) – наиболее насыщенная месторождениями и проявлениями горного хрусталя, **Омега-Шорский на юге района (II)** и **Западно-Саледский (III)** без месторождений.

ии

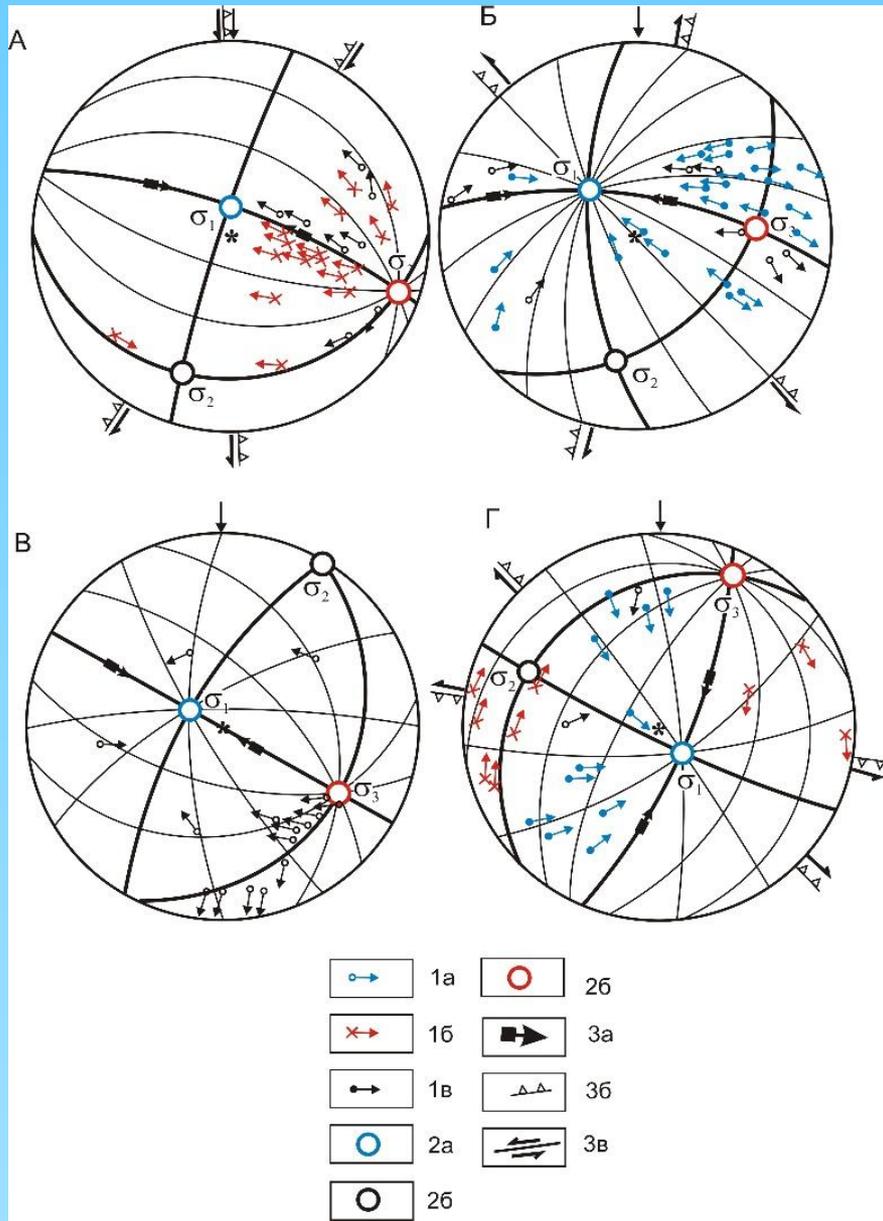
Методика тектонофизических исследований

Изучение тектонических напряжений производилось преимущественно кинематическим методом, разработанным О.И.Гущенко (1973, 1979).

Согласно этому методу (графический вариант) по векторам перемещений, измеренных на зеркалах скольжения на плоскостях любого генезиса (трещины, плоскости напластования, прототектонические трещины и т.д.) восстанавливаются оси главных нормальных напряжений по строго определенным правилам.



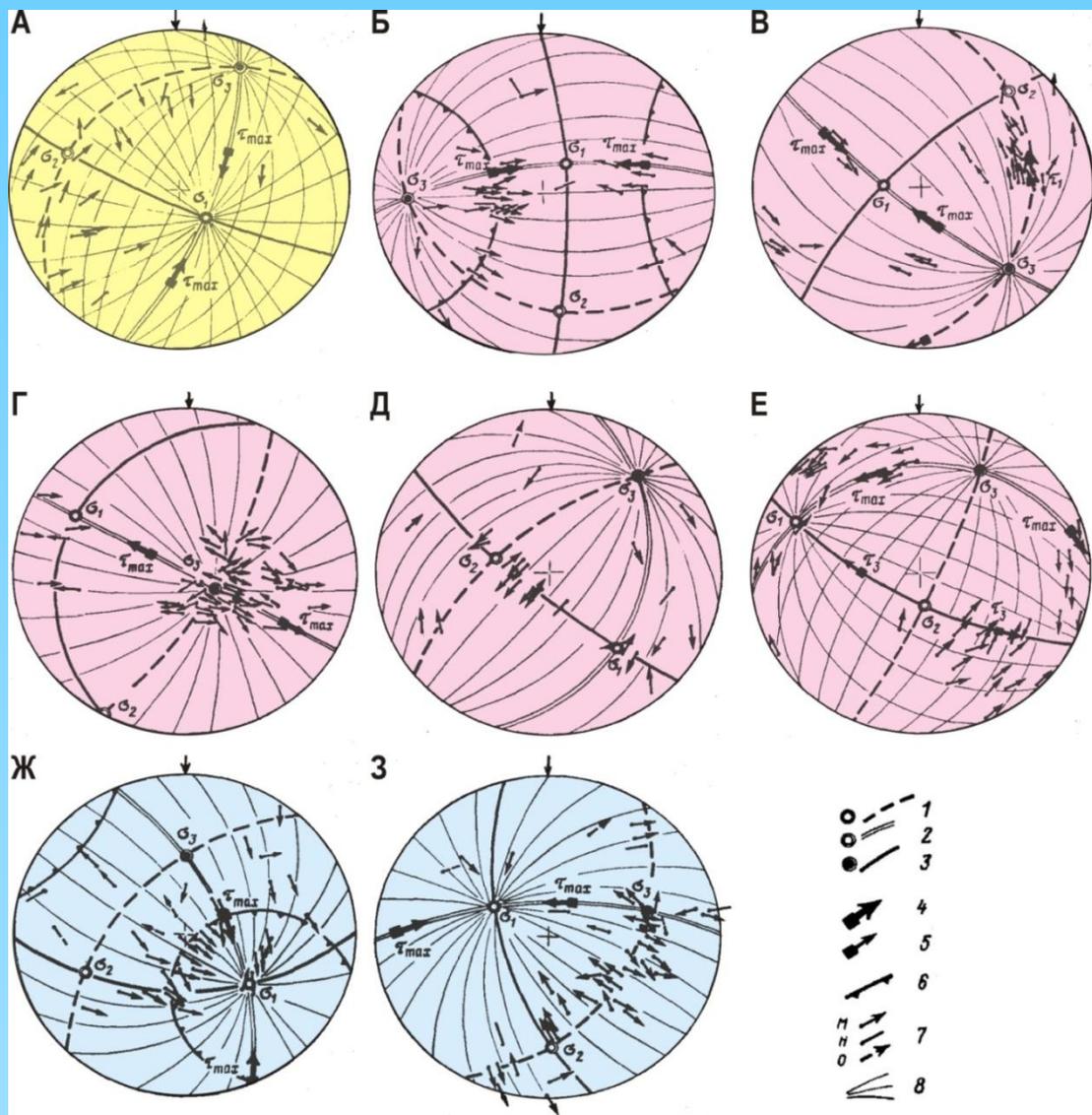
Локальные стресс-состояния-ЛСС (Пелингичейский блок, Приполярный Урал)



А – Одноосное сжатие,
Б – одноосное растяжение,
В – трехосное напряженное состояние (чистый сдвиг),
Г – ВВНС

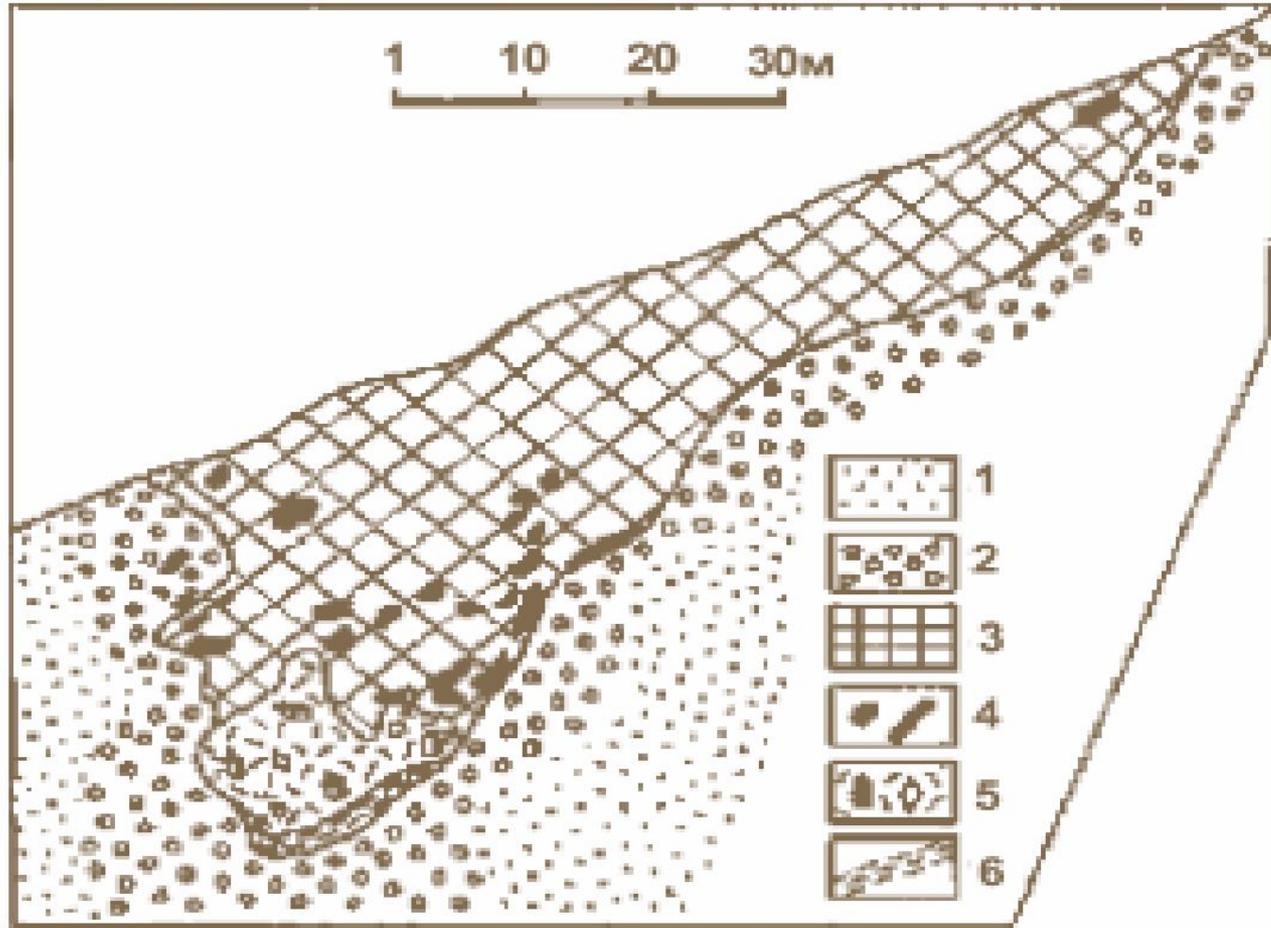
1 – вектора перемещений на зеркалах скольжения, совпадающие с дугами больших кругов, расходящихся:
а – от оси растяжения, **б** – от оси сжатия; **в** – находящиеся в створе острого угла между дугами больших кругов, расходящихся от осей сжатия и растяжения;
2 – оси главных нормальных напряжений: **а** – растяжения, **б** – промежуточная, **в** – сжатия;
3 – плоскости действия максимальных касательных напряжений: **а** – полюс, **б, в** – кинематические типы (простираения плоскостей, вынесены за пределы круга):
Б – взбросы, **в** – сдвиги.

Вариация вида напряженного состояния



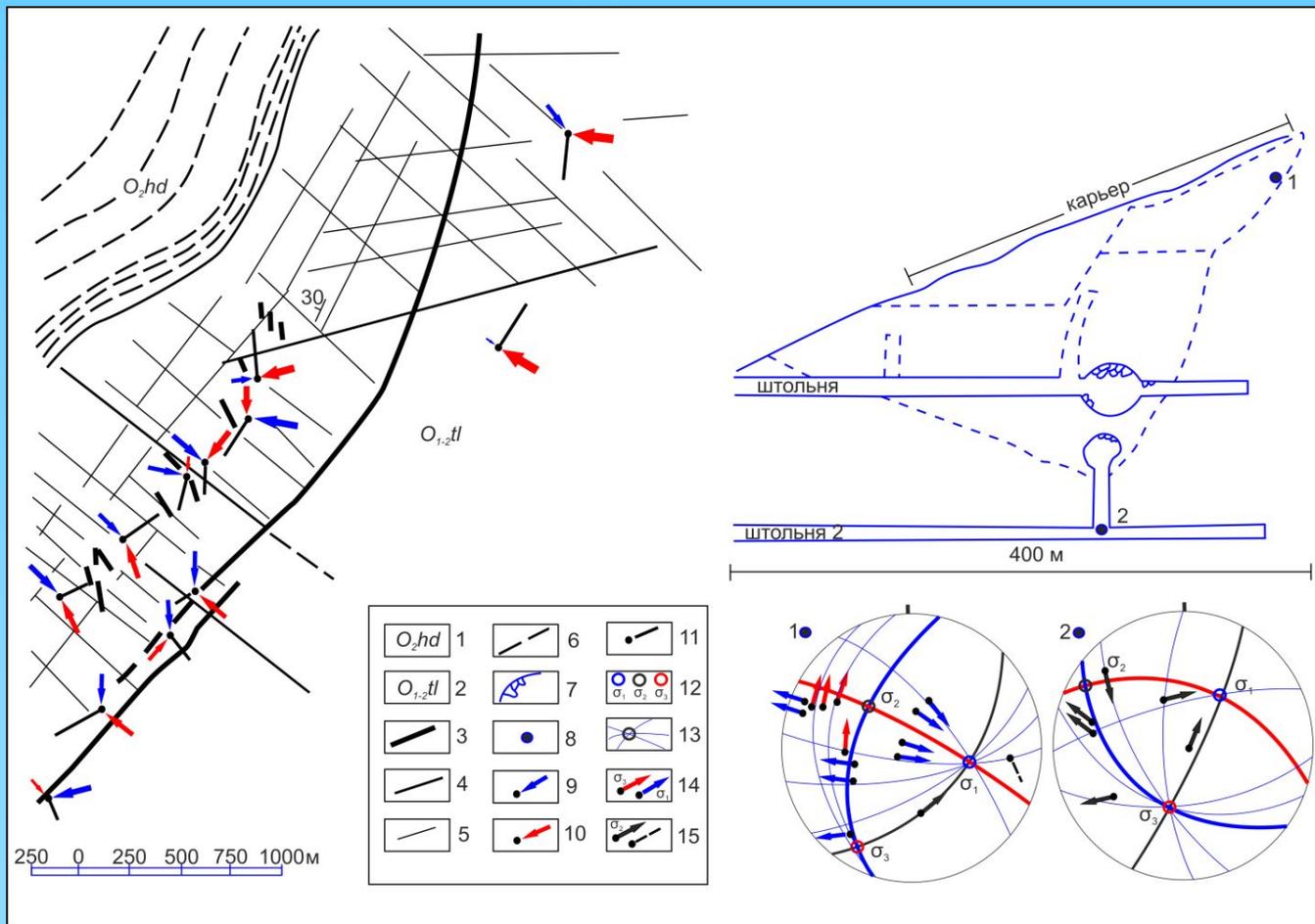
Кинематический метод
О.И.Гущенко (1973,
1979) позволяет
определить
ориентировки главных
напряжений и вид
напряженного
состояния.
Б, В, Г, Д – обстановка
одноосного сжатия;
Ж, З – обстановка
одноосного растяжения;
Е – трехосное
напряженное состояние;
А – ВНС - Вариация
вида напряженного
состояния.

Месторождение Желанное



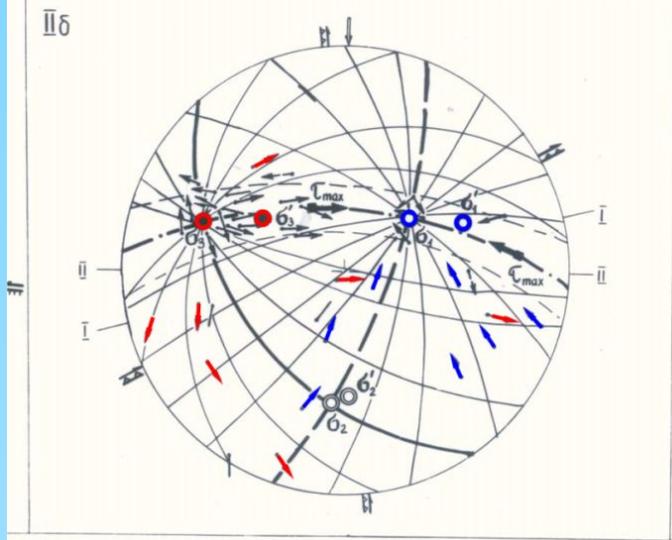
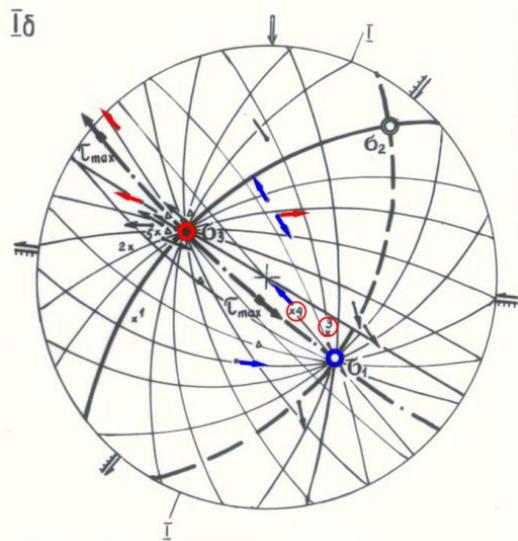
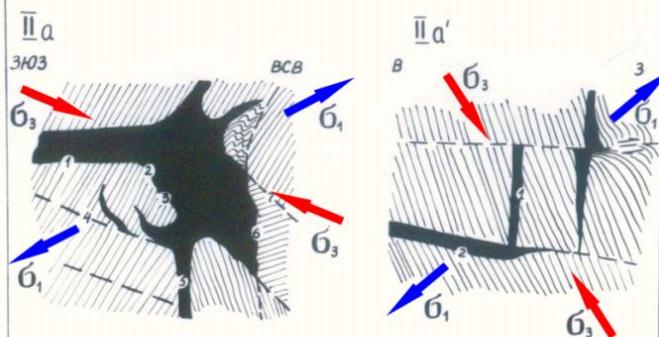
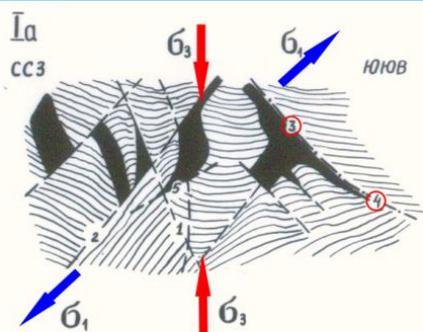
Продольный разрез-проекция одного из кварцево_жильных узлов Западной зоны (по С.С. Цюцкому, 1984): 1 — кварциты; 2 — измененные кварциты; 3 — Кварцево-жильный узел; 4 — внутрижильные хрусталеносные полости; 5 — хрусталеносная полостная зона; 6 — серицитолиты

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЖЕЛАННОЕ



1- хыдейская, 2 – тельпосская свиты (нижний ордовик). 3 – рудоподводящий, I ранга, 4,5 – рудоконтролирующие II и III рангов разломы. 6 – Кварцевые жилы. 7– Гнезда горного хрусталя. 8 - Точки наблюдения. 9-11 – Проекция осей главных нормальных напряжений в точки наблюдения. 12- Оси главных нормальных напряжений на стереограммах: σ_1 -растяжения, σ_2 - промежуточная, σ_3 - сжатия. 13 – Дуги больших кругов, расходящиеся от осей σ_1 и σ_3 . 14 – Вектора перемещений, совпадающие с дугами больших кругов, расходящихся от оси сжатия σ_3 и растяжения σ_1 с. 15 – вектора перемещения, попадающие в створ острого угла или противоречащие найденным осям главных нормальных напряжений.

Взаимоотношение осей главных нормальных напряжений и жил кварца

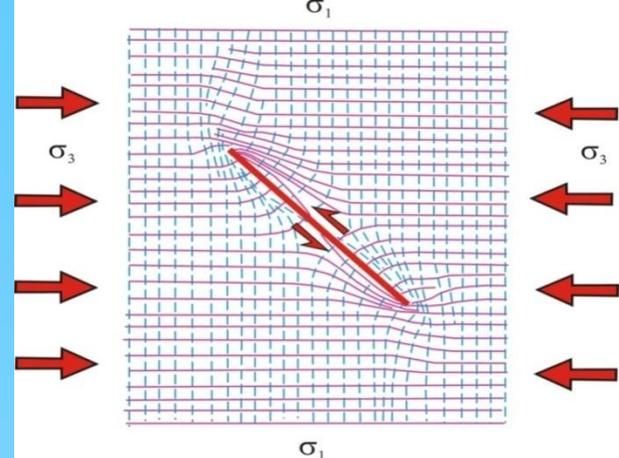
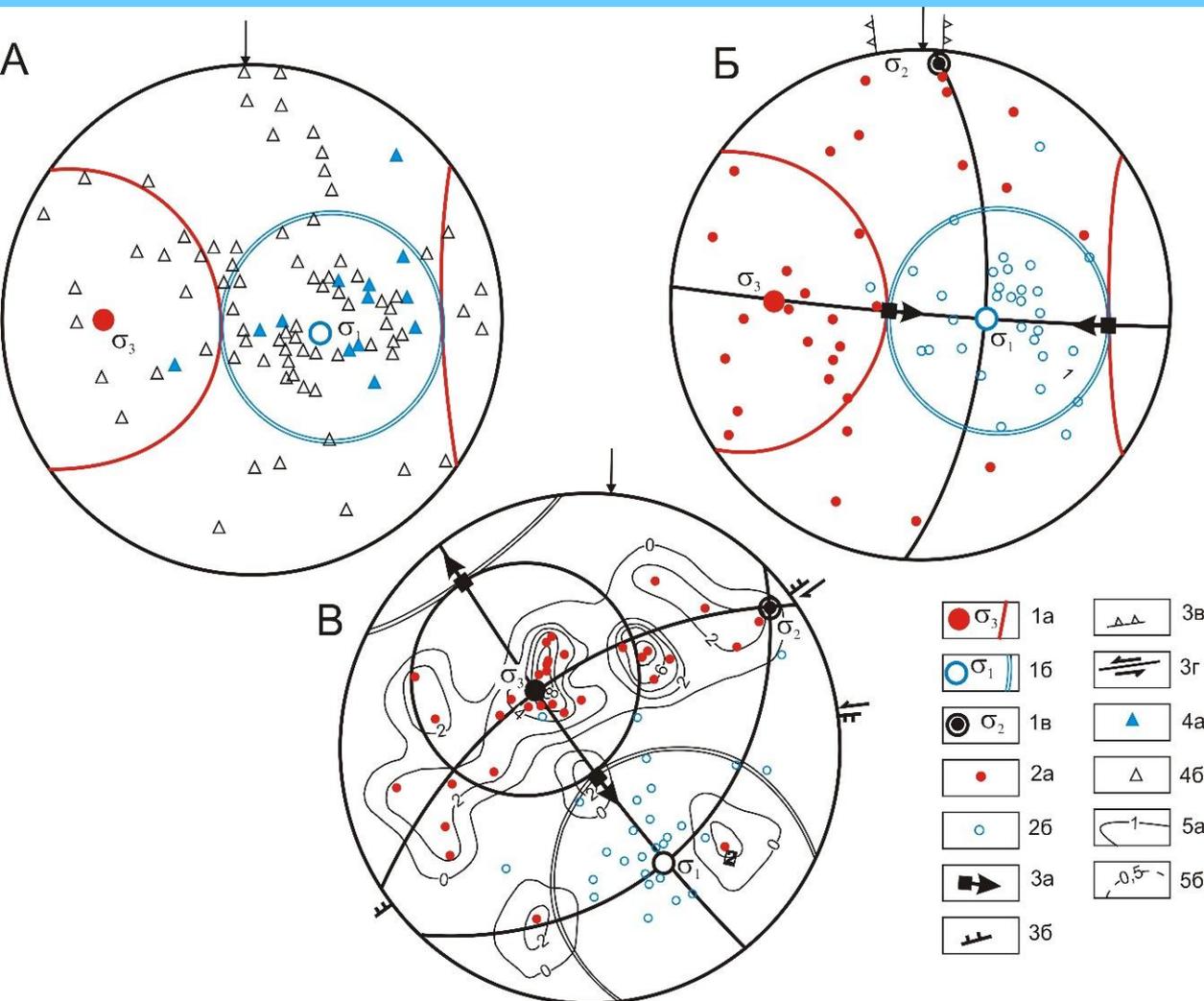


- I a – Разрыв (3 и 4), нормальный к оси растяжения, обеспечил формирование мощной жилы по разлому СВ простирания.

- IIa – Мощная кварцевая жила, нормальная к оси растяжения, содержит кристаллы горного хрусталя.

- IIa' – в соседней точке наблюдения с близкими ориентировками осей ЛСС нет кристаллов горного хрусталя.

Общее поле напряжений

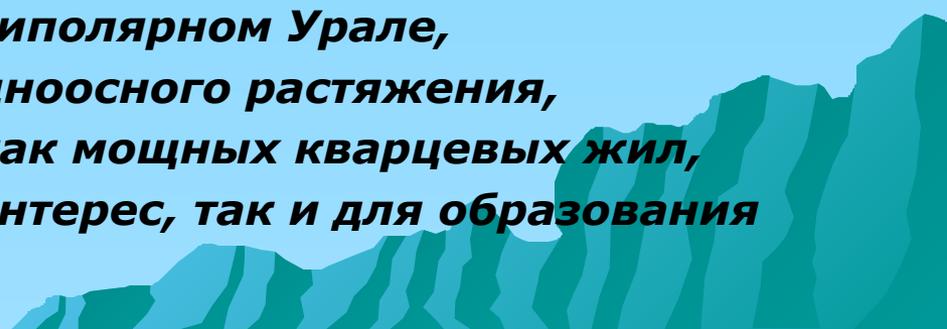


А, Б – Омга-Шорский блок, В – Пелингичейский блок. 1 – оси сжатия (а), растяжения (б) и промежуточная (в) и плоскости их действия тмах ; 2 – оси ЛСС : а – сжатия, б – растяжения; 3 – плоскости действия максимальных касательных напряжений : а- полюс, б- г – простираения и их кинематические типы: б – сбросы, в – взбросы, г – сдвиги; 4 – полюса плоскостей кварцевых жил: а – сгнездами, б – без гнезд горного хрусталя; 5 – изолинии плотности осей сжатия ЛСС.

1- В конусе растяжения сконцентрированы кварцевые жилы с гнездами горного хрусталя (А) и оси растяжения ЛСС (Б, В). Разброс осей сжатия ЛСС по всей стереограмме и концентрация осей растяжения в конусе растяжения – свидетельства одноосного растяжения в блоках.

Связь тектонических напряжений и хрусталеносности Приполярного Урала

Хрусталеобразование занимает в процессе геологического развития хрусталеносных провинций определенную пространственно-временную позицию: во временном отношении соответствует **завершающим этапам проявления эндогенной активности** соответствующих блоков земной коры; в пространственном отношении области максимального развития хрусталеносной минерализации унаследуют **положение геологических структур, в которых наиболее активно проявлялись разновозрастные эндогенные процессы** (Козлов А.В., 1998)

- 1). Возраст восстановленных тектонических напряжений локальных и общих тектонических напряжений приурочен к завершающим этапам герцинского тектогенеза на Приполярном Урале (поздняя пермь).**
 - 2). Локальные стресс состояния с ВВНС благоприятны для формирования кристаллов горного хрусталя, т.к. обеспечивают неоднократное раскрытие трещин и подток флюидов.**
 - 3). Крупные блоки земной коры на Приполярном Урале, деформирующиеся в обстановке одноосного растяжения, благоприятны для формирования как мощных кварцевых жил, представляющих промышленный интерес, так и для образования кристаллов горного хрусталя.**
- 

Никитовское ртутное рудное поле (Донбасс)

Никитовское рудное поле представляет собой стратиформное образование кварц-диксит-киноварного типа. В региональном плане месторождение приурочено к глобальной системе дислокаций в Земной коре - "линеаменту Карпинского".

Добыча ртути в "Никитовке" началась в 1886 году. Геологическими исследованиями более 20 лет руководил А.А.Шепелев, который отметил

важную роль структурного фактора в локализации оруденения. При этом существенную роль играли трещины, наиболее крупная из которых "Секущая" рассматривалась как рудоконтролирующий элемент структуры.

В 1991-1992 гг., Никитовский ртутный комбинат был объявлен банкротом, а затем распродан по частям. Но проведенная в последние годы инвентаризация месторождений Донбасса показала наличие большого количества перспективных рудных пластов и солидные запасы ртути. По мнению большинства специалистов, **при наличии инвестиций возродить добычу киновари и производство ртути на этом уникальном месторождении вполне реально.**

В 1995 году исполнилось 110 лет с начала промышленного освоения ртутных руд Никитовской группы месторождений в Донбассе. Этот юбилей, к сожалению, совпал с остановкой эксплуатационных работ Никитовского ртутного рудника. В его истории это не первый случай, когда по тем или иным причинам останавливались горные работы. **Остаётся надеяться, что со временем добыча далеко ещё не исчерпанных руд на Никитовке будет возобновлена. И тогда, попутно с добычей ртути, вновь появятся на рынке замечательные и по-своему уникальные коллекционные образцы.**



На протяжении нескольких десятилетий напряженно-деформированным состоянием Никитовского месторождения ртути занимался

◆ **Корчемагин В.А.**-

- ◆ профессор Донецкого технического государственного университета (ДТГУ) , защитил на ученом совете ИФЗ РАН в 1982г. докторскую диссертацию на тему: «Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса». Много лет руководит тектонофизической школой в ДТГУ. Под его руководством молодые тектонофизики защитили кандидатские диссертации, неоднократно выступали на тектонофизических школах, организованных лаб. тектонофизики им. М.В. Гзовского в ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН.

Никитовское рудное поле (Донбасс) (по: В.А. Корчемагину, 1987)

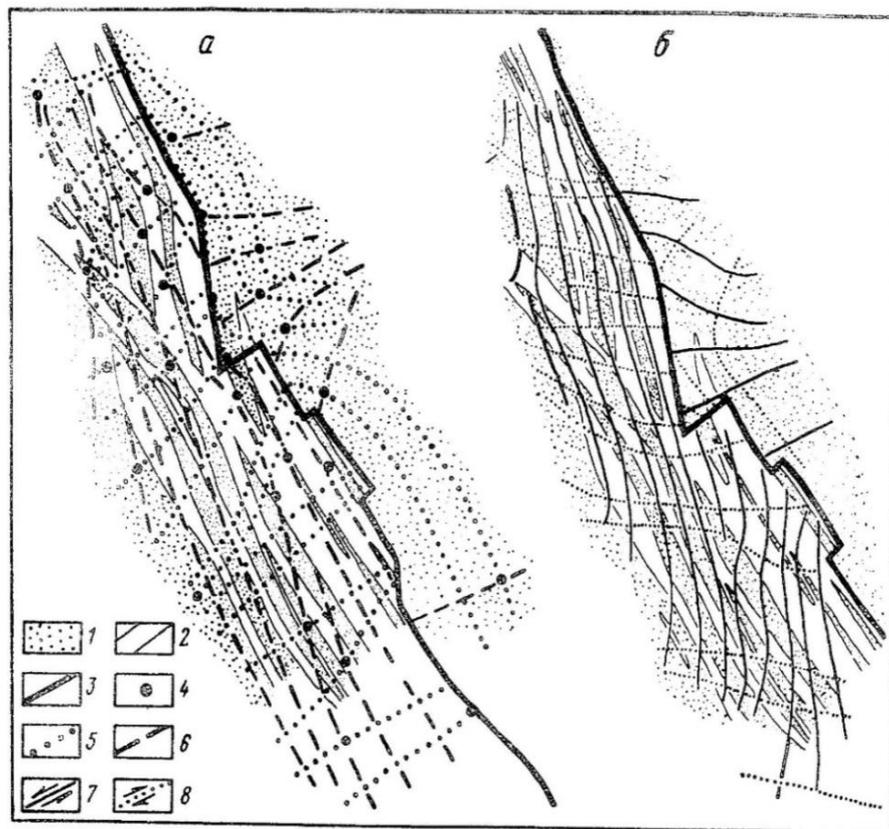


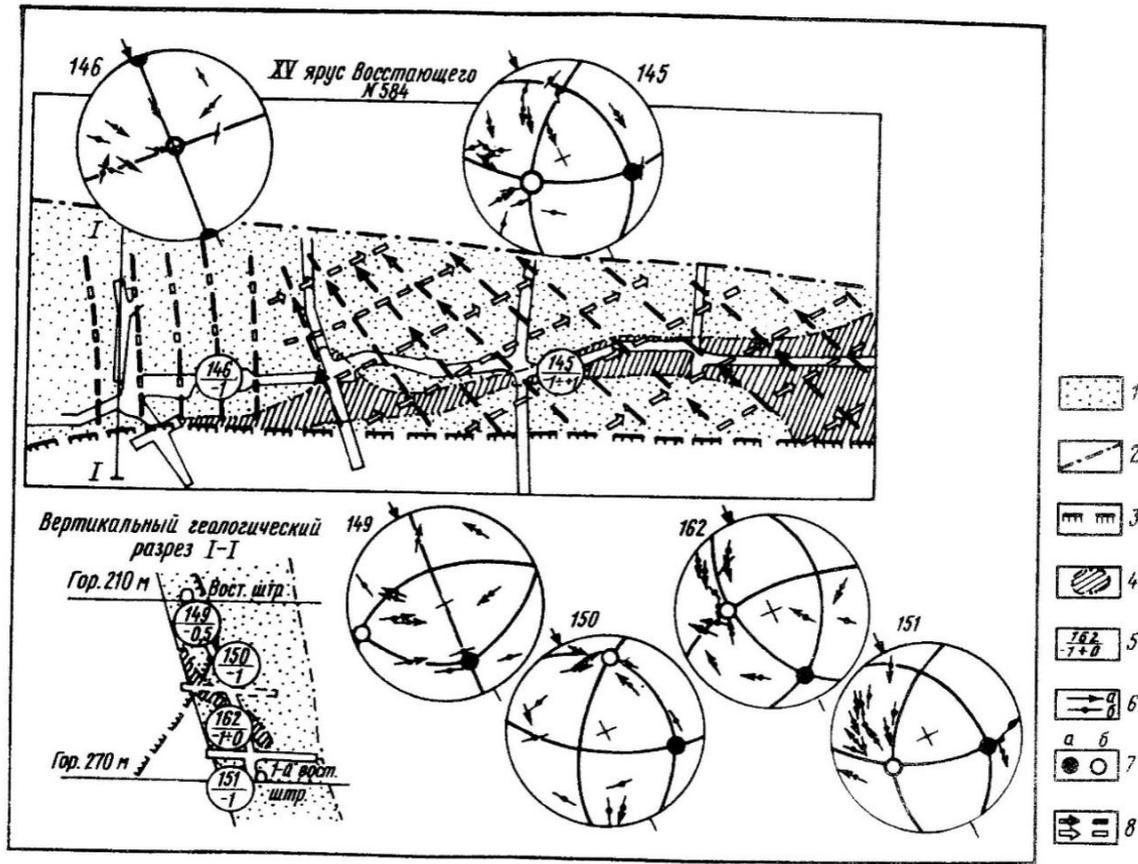
Рис. 2. План поля тектонических напряжений участка "Свита жил" на позднем этапе

a – траектории осей σ_1 и σ_3 , b – простираения плоскостей действия максимальных касательных напряжений; 1 – алюмосиликаты; 2 – талькиты; 3 – разрывные нарушения, 4 – точки замеров; 5–6 – траектории осей; σ_1 – 5 и σ_3 – 6; 7 – левосдвиговые плоскости действия τ_{\max} ; 8 – то же, правосдвиговые

Никитовское рудное поле приурочено к сводовой части Главной антиклинали Донбасса, которая представляет собой крупную складку, сложенную угленосной толщей карбона. Она ограничена с обеих сторон продольными, несогласно падающими разломами, наклоненными к ядру антиклинали под углами 50-70 градусов. Это сдвиги с незначительной вертикальной компонентой перемещений.

Следует обратить внимание на ориентировку осей главных нормальных напряжений в тылу сдвига и во фронтальной части – полная аналогия с данными моделирования.

Наиболее богатые рудные тела приурочены к зонам дробления и повышенной трещиноватости вдоль продольных разрывов. На месторождении определено около 200 ЛСС.



Поля напряжений Никитовского рудного поля

1 – Рудовмещающие песчаники; 3 – уголь; 3 – тектонические нарушения; 4 – контуры рудного тела; 5 – пункты реконструкций ЛСС (в числителе номер, в знаменателе – значение коэф. $\mu\sigma$); 6 – борозды скольжения: с известным (а) и неопределенным (б) знаком смещения; 7 – оси главных нормальных напряжений: а - σ_3 («сжатия»), б - σ_1 - «растяжения»; 8 – траектории осей: а - σ_3 , б - σ_1 . **146, 151 - $\mu\sigma = -1$** , 149- $\mu\sigma = -0,5$; **162- $\mu\sigma = -1+0$** ;

В рудных участках – максимальный диапазон изменений от +1 до -1 (ВВНС)

Рай-Изское хромитоносное рудное поле

Массив ультраосновных пород Райиз приурочен к Главному Уральскому глубинному разлому, вдоль которого проходит граница коры континентального и океанического типа по простирацию всего Урала.

Массив сложен породами дунит-гарцбургитовой формации. Ограниченно: габро, пироксениты, верлиты.

Хромитовое оруденение – на юге массива – длина полосы 15 км от западного до восточного контакта, ширина – 5-6 км.

Богатые руды – крупно- и средне-зернистые, образуют линзы и жилы, контакты резкие, прямолинейные, дизъюнктивная природа рудовмещающих полостей.

Бедные руды - мелко-зернистые, редко вкрапленные, границы «струйчато-полосчатых» зон нечеткие.

Сложное многофазное становление ультрамафитов, наличие нескольких планов пород, различие в условиях локализации двух типов руд, развитие блоковой тектоники и другие факторы указывают на значительную роль процессов деформирования массива в возникновении богатых руд.

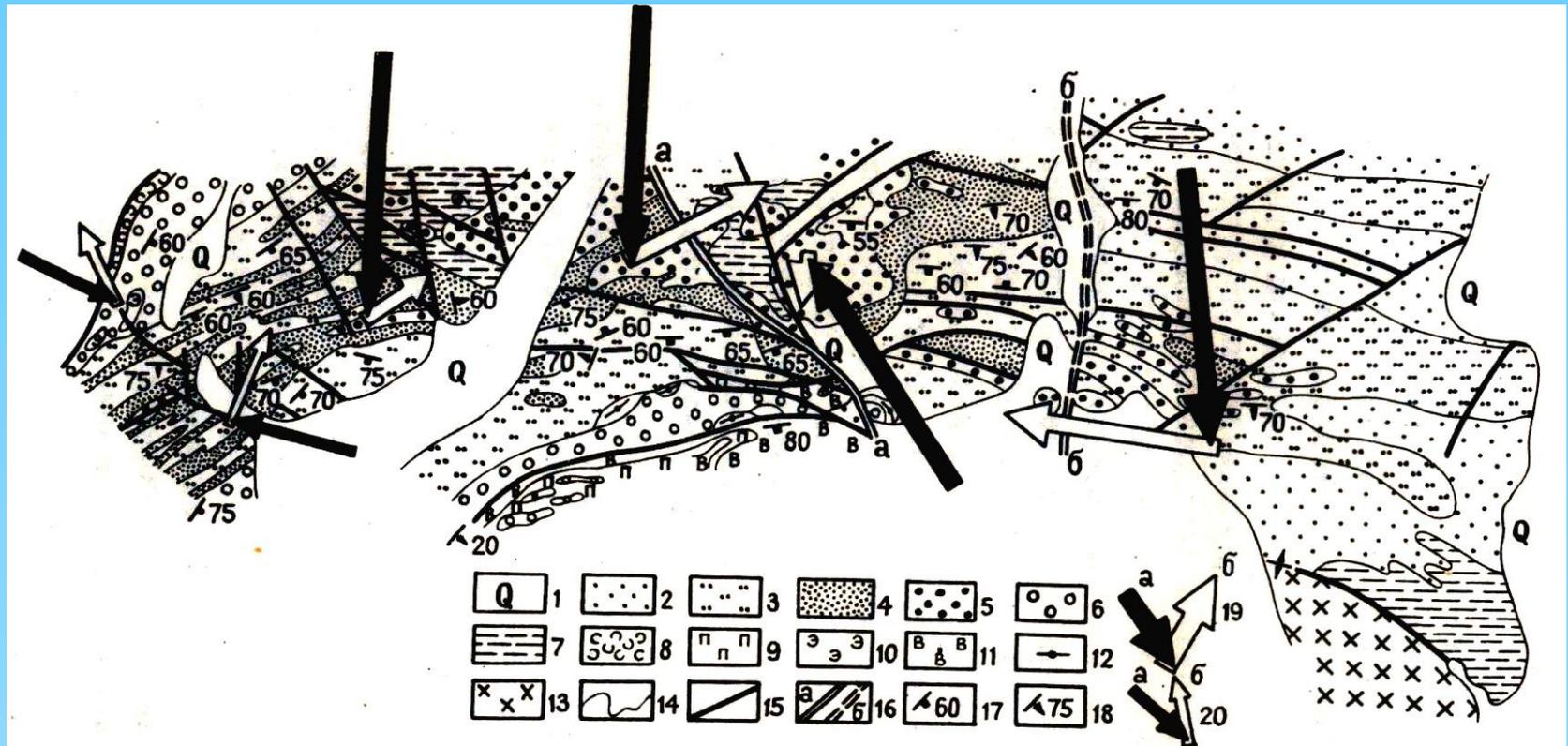
Разрывы являются границами блоков разных размеров. Условно выделяются два этапа их развития:

1-й – формирование ослабленных поверхностей различного генезиса – контракционная трещиноватость, тектонические трещины отрыва и скола;

2-й этап – продолжается формирование тектонических трещин с перемещениями как по ним, так по более ранним, фиксируются в виде борозды скольжения.

Хромиты (Рай-Из, Полярный Урал)

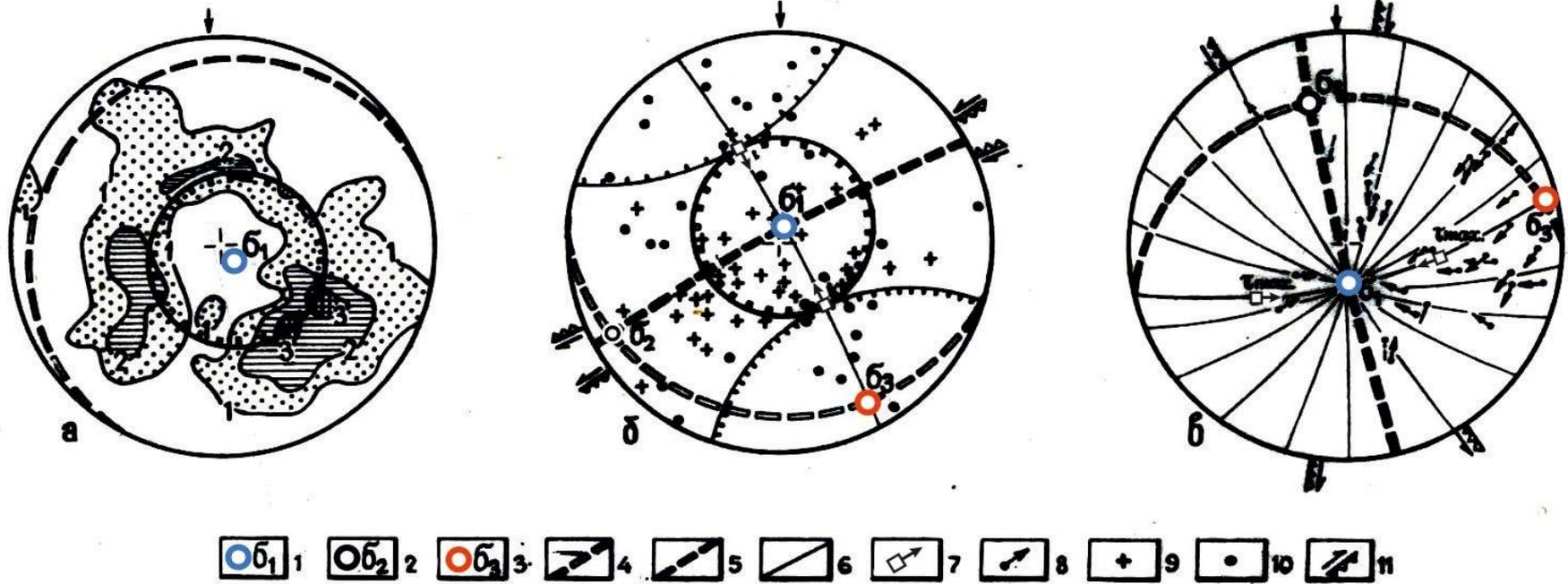
(по: Васильев, Каплин О.А., Сим Л.А., 1985)



Ориентация векторов главных нормальных напряжений в Райизском рудном поле

1-Четвертичные образования; 2-3 – гарцбургиты: 2-массивные, 3-директивные; 5-6-дуниты: 5 -крупно-гигантозернистые, 6 – мелкозернистые; 7 – оливин-антигоритовые породы; 8-серпентиниты; 9- пироксениты; 10- энстатиты; 11-верлиты; 12- амфиболиты; 13-габбро. 15- разломы, 16 – разломы, делящие однородноосные блоки рудного поля: а)Полойшорский, б)Енганский; **17-18 – элементы залегания: 17 – полосчатости ультрамафитов,18-сланцеватости**; 19-20 - ориентация векторов главных нормальных напряжений: а)сжатия, б) растяжения-19- **в рудном поле**, 20 – **в крыльях Визувшорского разлома**; длины векторов обратно пропорциональны величинам углов их погружения.

Рай-Из



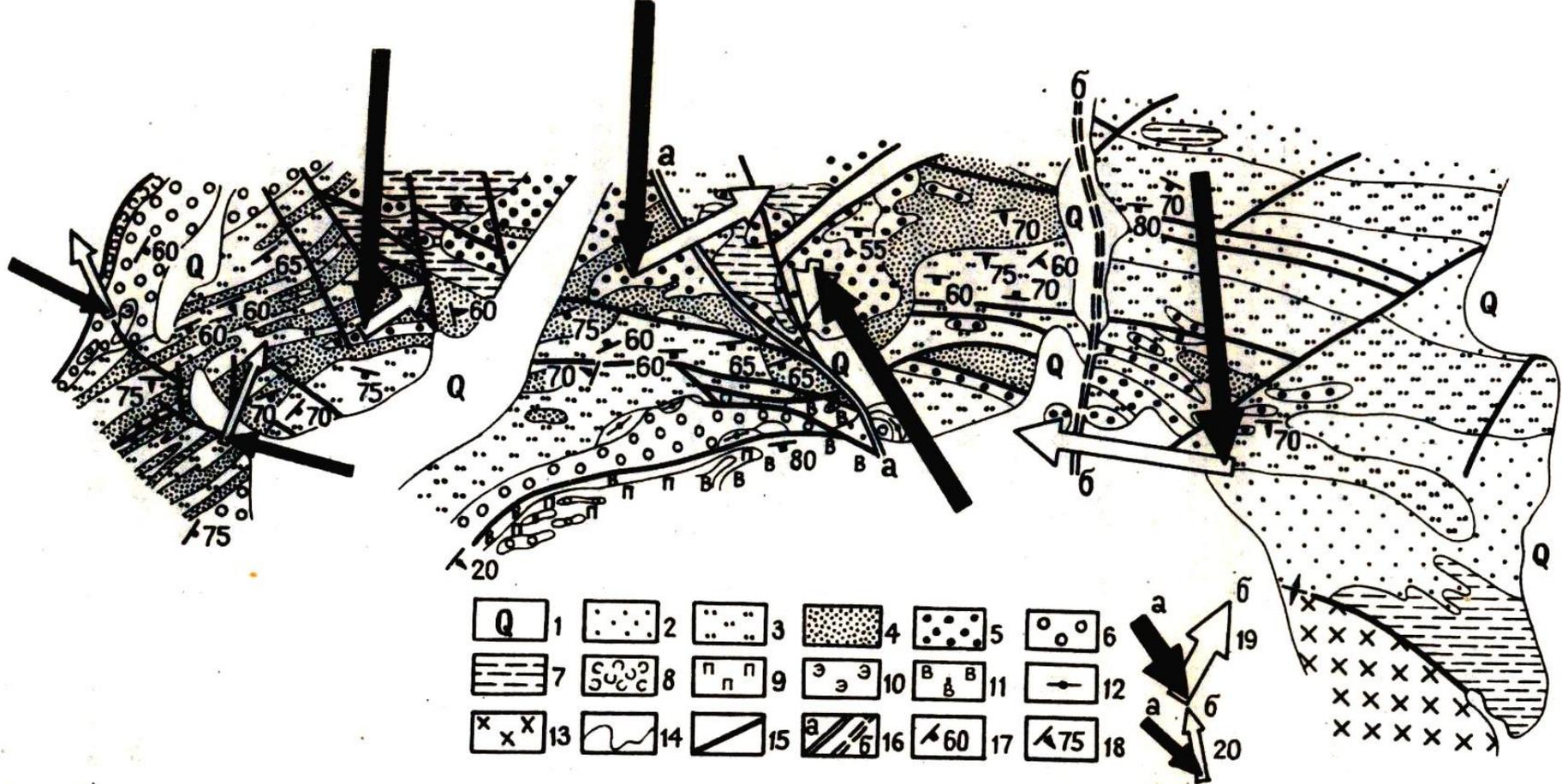
Стереограммы ориентаций векторов главных нормальных напряжений:

в рудном поле (а – 1 этап, б – 2 этап), в – в висячем крыле Визувшорского разлома. Точками обозначены вектора, дугами – плоскости. Сетка Вульфа, верхняя полусфера.

1-3 – оси главных нормальных напряжений: 1- растяжения, 2 – промежуточная, 3 – сжатия; 4-6 – плоскости действия: 4 – растяжения, 5 – сжатия, 6 – промежуточной; - полюс плоскостей действия максимальных касательных напряжений; 8 – вектор перемещения на зеркале скольжения; 9-10 – оси растяжения (9) и сжатия (10) локального уровня (на стереограмме «б»); 11 – простираения плоскостей действия максимальных касательных напряжений и направление подвижки.

1- этап – режим горизонтального сжатия с вертикальной осью растяжения. Восстановлен по всем трещинам массива. Три максимума не дают однозначного положения оси сжатия. Этот этап сопровождался образованием контракционной трещиноватости.

2-й этап – Ось растяжения осталась на месте, ось сжатия субгоризонтальна, погружается на ССЗ; плоскости действия максимальных касательных напряжений ВСВ простираения.



С-ССЗ. Ось растяжения осталась на месте, ось сжатия субвертикальна, перпендикулярна на С-ССЗ. Ось субнормальна к простиранию полосчатости гарцбургитов в Центральном рудном поле. В Центральном рудном поле ось растяжения субвертикальна, надвигание массива, плоскости действия макс-касат напряжений зажаты, перекристаллизация массивных гарцбургитов в директивные с последующим преобразованием их в дуниты. Субнормальная ориентировка сжатия к простиранию дунитов – условия для образования крупно-, гигантозернистых руд – начало пострудного пегматоидного процесса. **Наибольшая интенсивность – в западной половине рудного поля - субнормальная ориентировка оси сжатия к контактам; наиболее богатые рудные тела.**

Онотское месторождение талька

(предгорья Восточных Саян) [Н.Ю.Васильев, 1987]

- ◆ Онотское месторождение приурочено к южном увыступу докембрийского фундамента Сибирской платформы - Шарыжалгайскому. Свод выступа осложнен структурой Онотского грабена ССВ простирания. Центральная часть грабена – мигматиты и анатектиты среднего протерозоя, крылья – карбонатная толща нижнего протерозоя – блоки преимущественно субмеридионального простирания.

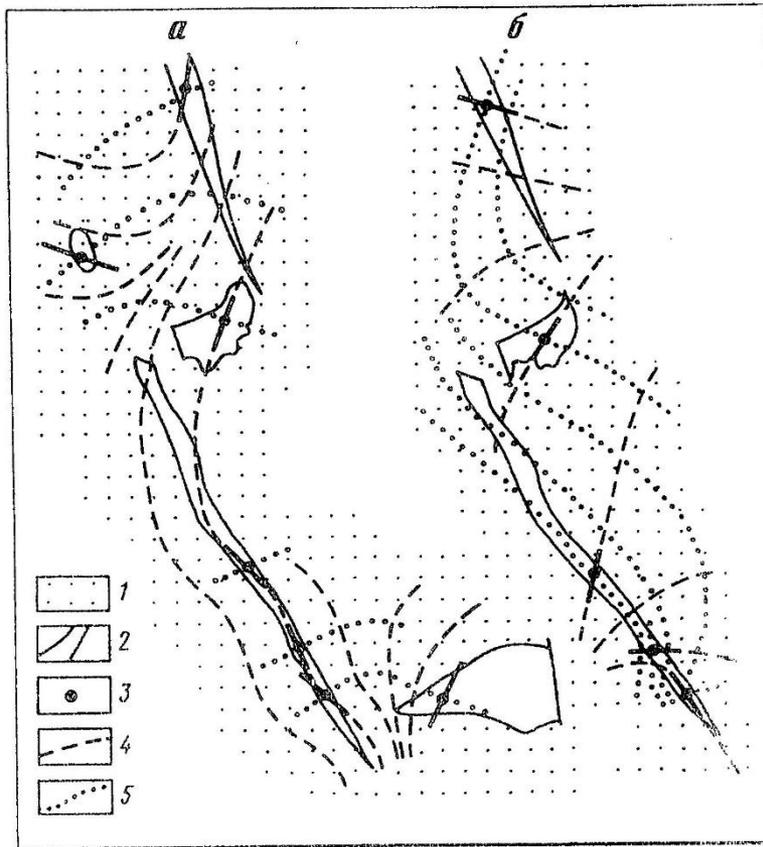
- ◆ **Тальковые рудные тела** - в карбонатной толще западного крыла. Образуют повторяющиеся через 500-700м четковидные залежи, согласные с общим простиранием толщи на протяжении 8 км.

- ◆ Образование залежей – гидротермально-метасоматические преобразования доломитов и магнезитов под действием кремнекислых растворов.

- ◆ Главные рудообразующие факторы – исходные магнезиальные породы, обилие кремнекислых растворов (из мигматитов и анатектитов) и проницаемость карбонатной толщи.

Реконструкция тектонических напряжений: ранний этап (а) - по методике М.В.Гзовского, поздний (б) – по методике О.И.Гущенко.

На раннем этапе – СВ-ЮЗ субгоризонтальное «растяжение», «сжатие» – субперпендикулярно простиранию карбонатных толщ.



На раннем этапе – СВ-ЮЗ субгоризонтальное «растяжение», «сжатие» – субперпендикулярно простиранию карбонатных толщ.

На позднем этапе – субмеридиональное «растяжение» и «сжатие», близкое к положению, нормального к блокам магнезитов.

Залежи талька приурочены к активным частям разломов.

1 – поле тектонических напряжений Онетского рудного поля
2 – юмосиликатные породы; 2 – блоки магнезитов; 3 – точки наблюдений; 4–5

Выделение фаз в едином цикле деформирования

На базе данных об ориентировках векторов перемещения на зеркалах скольжения разработаны принципы выделения фаз в едином цикле деформирования [Васильев и др., 1999, 2001; Гущенко, 1999; Гущенко и др., 2001; Леонов и др., 2001].

Обоснование возрастной последовательности выделенных фаз деформирования проведено по комплексу данных на примере деформаций в Гальмоэнанском массиве ультрабазитов (Корякское нагорье). Здесь были использованы геологические данные об ориентировках систем плоскостей кливажа, элементов залегания контактов габбро, пироксенитов и дунитов, хромитовых прожилков, данные о простираниях границ неотектонических блоков, сейсмологические данные о механизмах землетрясений [Васильев и др., 1999; Васильев, Мострюков, 2001].

Выделение рудо локализирующих условий деформаций геологической среды

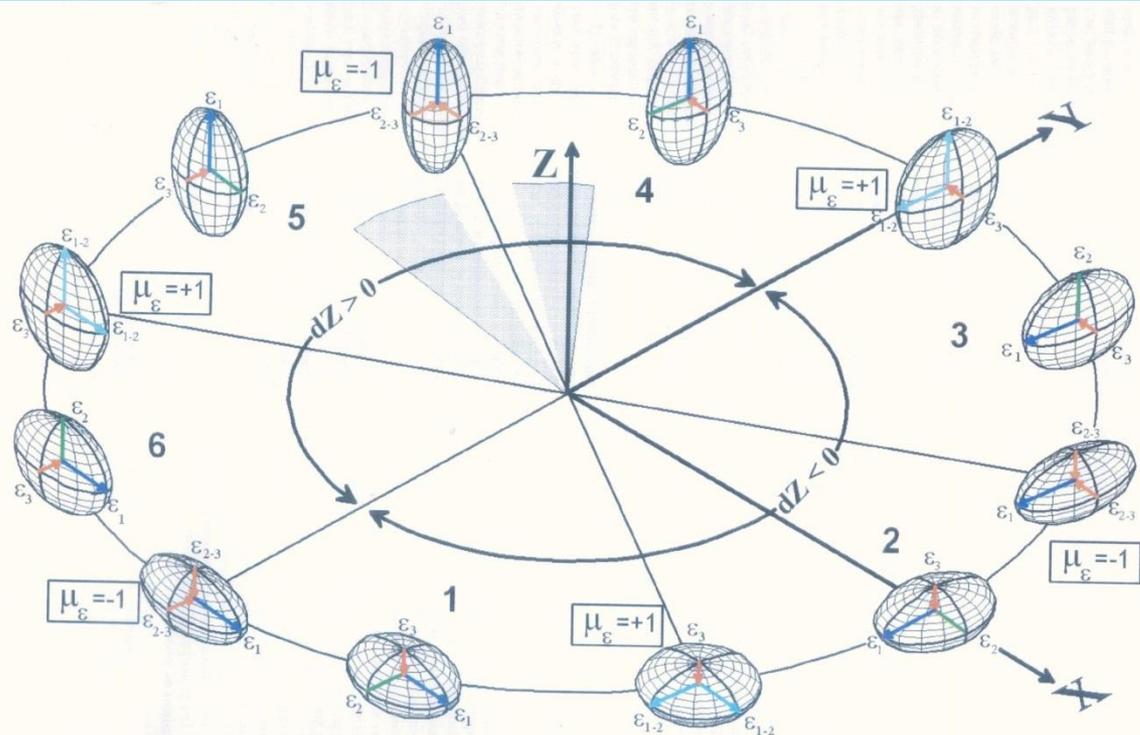


Рис. 2. Фазово-циклическая модель инверсионного изменения условий деформации геологической среды. Выделенные сектора показывают условия деформации, оптимальные для рудообразования

Полный цикл деформации - шестикратное изменение формы и ориентации эллипсоидов напряжений (деформаций) - следствие непрерывной пульсации соотношений между относительными величинами $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и μ_σ от -1 до $+1$ на границах фаз. Непрерывность развития процесса деформации - унаследованное сохранение ориентации одной из осей главных напряжений (σ_1, σ_3) эллипсоида и сменой индекса другой оси на индекс (σ_2) промежуточного напряжения в "соседних" фазах. Плавность переходов между фазами подчёркивается выравниванием величин между одним из главных напряжений (σ_1, σ_3) и промежуточным напряжением (σ_2) в эллипсоидах напряжений на границах фаз.

В каждой фазе цикла происходит направленное изменение формы эллипсоида деформации (от $\mu_\epsilon = -1$ до $\mu_\epsilon = +1$ или наоборот), а в течение полного цикла - закономерная шестикратная инверсионная смена ориентации осей ($\sigma_1 \leftrightarrow \sigma_2, \sigma_3 \leftrightarrow \sigma_2$). Природу циклического развития (цикла) тектонических деформаций, фиксируемого по шестикратной инверсионной смене фазовых механизмов деформационного процесса, вероятно, следует связывать с проявлением, как минимум, двух «противоположно» направленных тенденций в закономерностях развития земной коры.

С одной стороны, это последовательное развитие силового (энергетического) импульса, направленного на нарушение изостатического равновесия блоковой структуры земной коры, а с другой стороны, - высокая инерционность («инерция массы») направленного развития тектонических структур, препятствующая «мгновенному» установлению такого равновесия.

- ◆ Обоснование возрастной последовательности выделенных фаз деформирования проведено по комплексу данных на примере деформаций в **Гальмоэнанском массиве ультрабазитов (Корякское нагорье)**. Здесь были использованы геологические данные:
 - ◆ 1) об ориентировках систем плоскостей кливажа,
 - ◆ 2) элементов залегания контактов габбро, пироксенитов и дунитов,
 - ◆ 3) хромитовых прожилков,
 - ◆ 4) данные о простираниях границ неотектонических блоков,
 - ◆ 5) сейсмологических данных о механизмах землетрясений [Васильев и др., 1999; Васильев, Мострюков, 2001].
- 

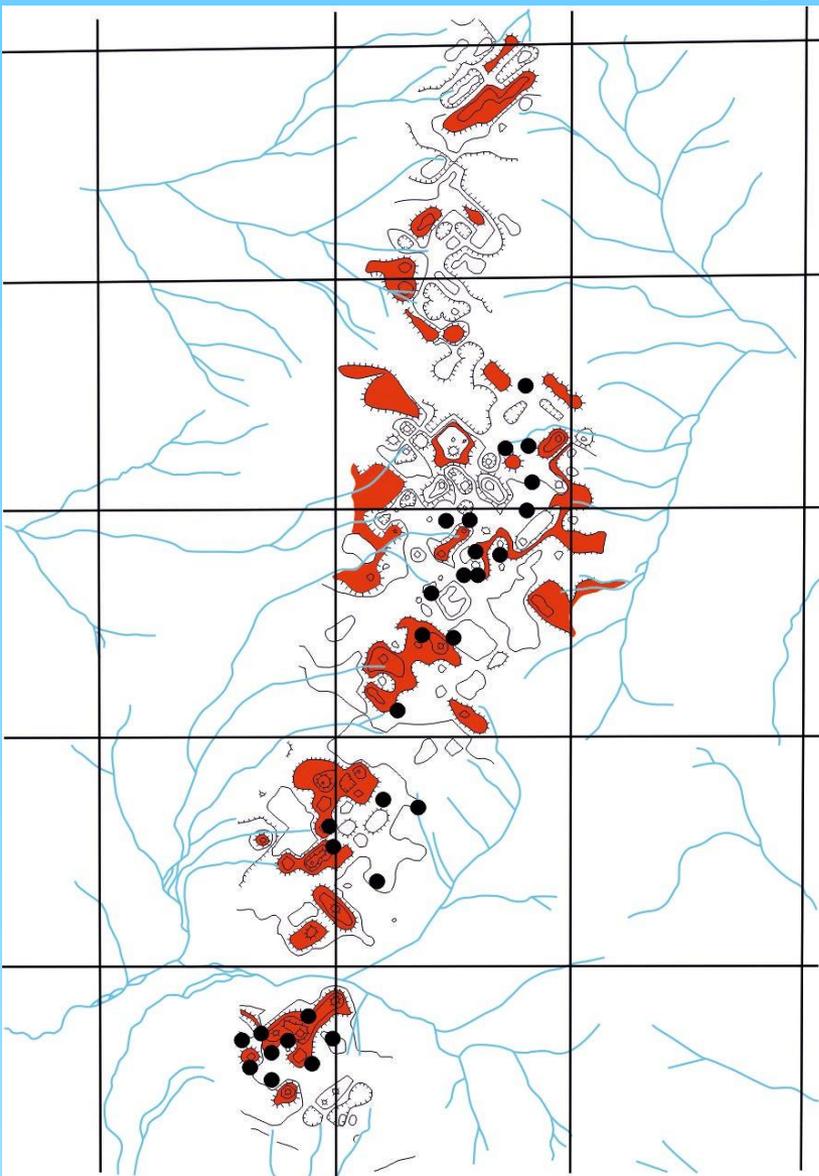
Гальмоэнанское м-ние платины (*Корякское нагорье*)

Ватынско-Вывенская платиноносная зона совпадает с фронтальным сегментом Олюторской зоны в Южной Корякии. Зона контролируется одноименным надвигом.



1997 г - Комплексный геологический отряд: полевые тектонофизические исследования, рук. Н.Ю.Васильев, на Гальмоэнанское месторождение платины. Измерения малых структурных форм – индикаторов тектонических напряжений производились: Н.Ю. Васильевым, В. А.Корчемагиным, Л.А.Сим и А.О. Мострюковым.

Гальмоэнанский массив ультрабазитов (Ватыно-Вывенский надвиг, Корякия) *(Васильев, Мострюков, 2000)*



На Гальмоэнанском массиве размером 3x5 км были измерены 5131 вектора перемещений, позволившие выделить 9 фаз деформирования с устойчивыми ориентациями осей главных нормальных напряжений в пространстве, но с закономерной их переиндексацией - непрерывно-прерывистая смена механизмов деформационного процесса (...взброс↔сдвиг↔сброс...) на границах фаз цикла. Среди этих фаз удалось выделить синрудную фазу деформирования и откартировать по всей исследованной площади участки с вертикальной компонентой ΔZ (вертикальное разуплотнение, высокая проницаемость) и градиентные зоны ΔZ . Проявления металла локализуются вдоль границ с высокоградиентными зонами ΔZ - пространственное размещение геохимических барьеров для перемещения металла с флюидами.

Параметры тектонических деформаций в развитии геологической структуры обстановок эндогенного рудообразования (Васильев, 2017)

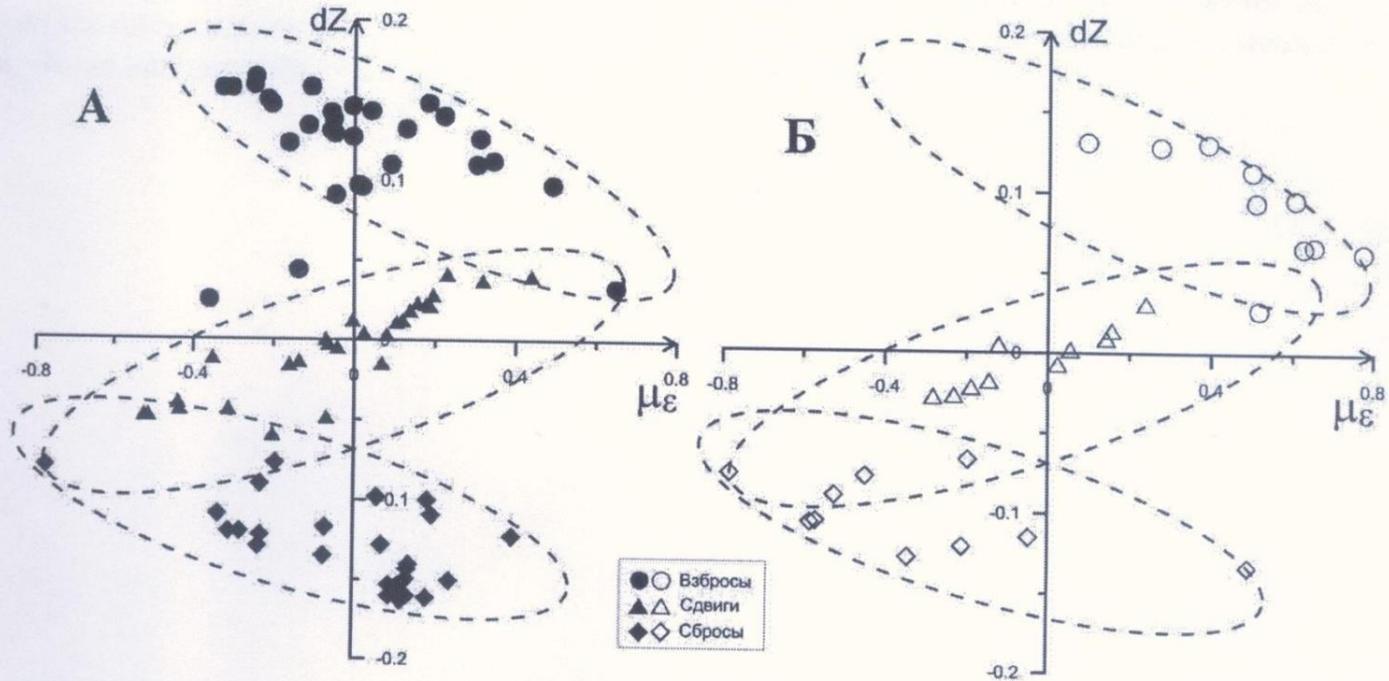


Рис. 2. Диаграммы взросовых, сдвиговых и сбросовых режимов деформации земной коры в тектонофизических параметрах ($\pm \mu\epsilon, \pm \Delta Z$) уплотнения-разуплотнения её структуры:
А – на участках локализации 17 эндогенных месторождений (с признаками дилатансии)
Б – на участках без признаков развития эндогенного рудогенеза и явлений дилатансии

Положительная дилатансия–структурно-тектонический фактор контроля оруденения:
1) $\mu\epsilon < 0$; 2) $\Delta Z > 0,10$; 3) взросовый тип механизма деформации в условиях активного растяжения; 4) крутая ориентация «активной» оси $\sigma_1 \geq 60^\circ$. Зафиксировано на 16 м-ниях: Актоврацком (асбеста), Гурбейском (Au), Джетыгаринском (асбеста), Инаглинском (слюды), Канчочском (Au),

Выводы

- ◆ Неполный обзор достижений тектонофизических исследований проведенных для установления взаимосвязи оруденения с тектоническими напряжениями и деформациями показал:
- ◆ *1 – руды разного генезиса предпочитают формироваться в блоках горных пород, находившихся на стадии рудобразования в геодинамической обстановке растяжения;*
- ◆ *2 – установлен новый тип напряженного состояния – вариация вида напряженного состояния, влияющий на концентрацию гнезд горного хрусталя и ртути;*
- ◆ *3 – охарактеризовано объемное разуплотнение земной коры (положительная дилатансия) и установлены тектонофизические параметры этого процесса, контролирующего оруденение.*

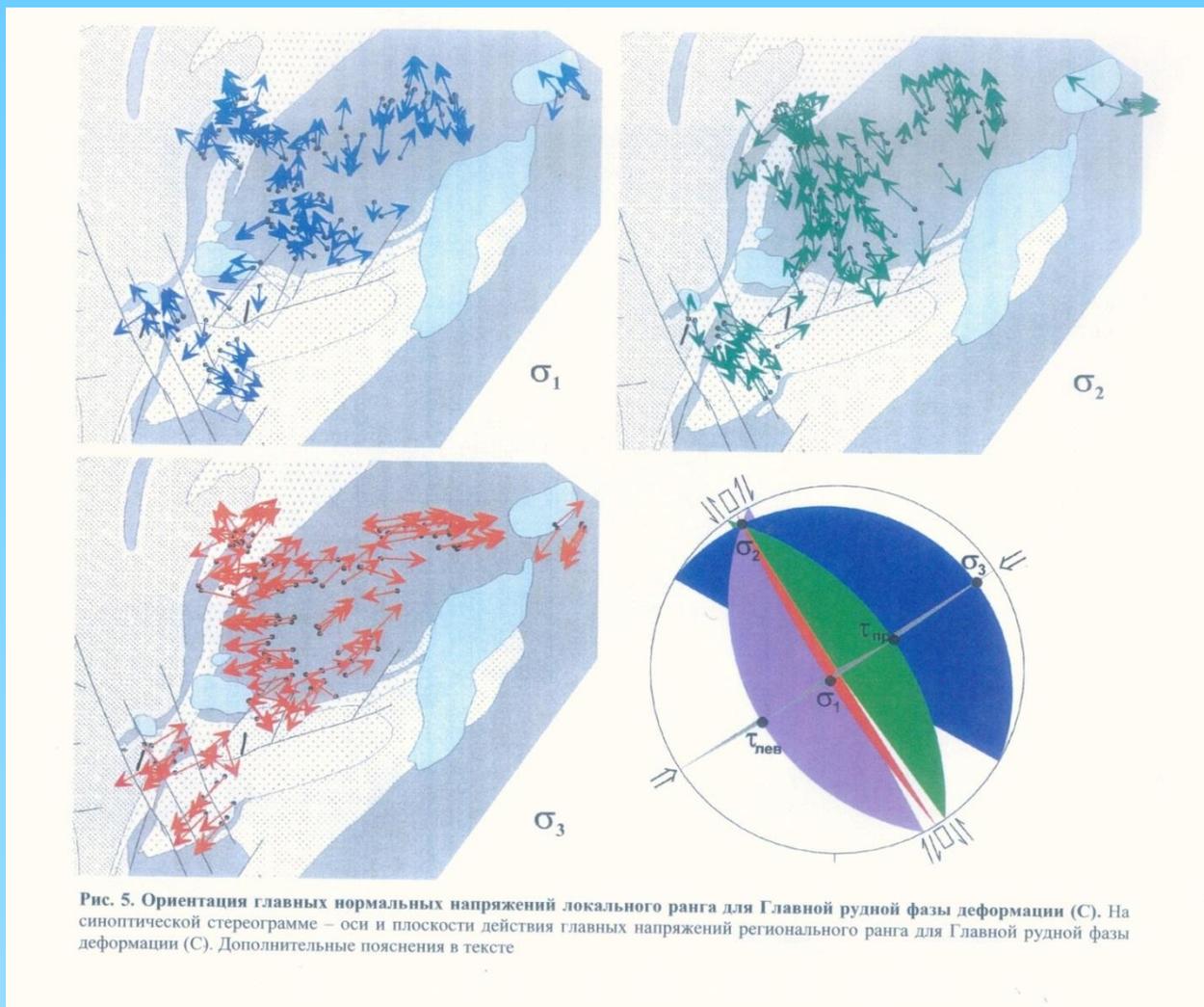


Спасибо за внимание!

Кристалл горного хрусталя (Приполярный Урал)

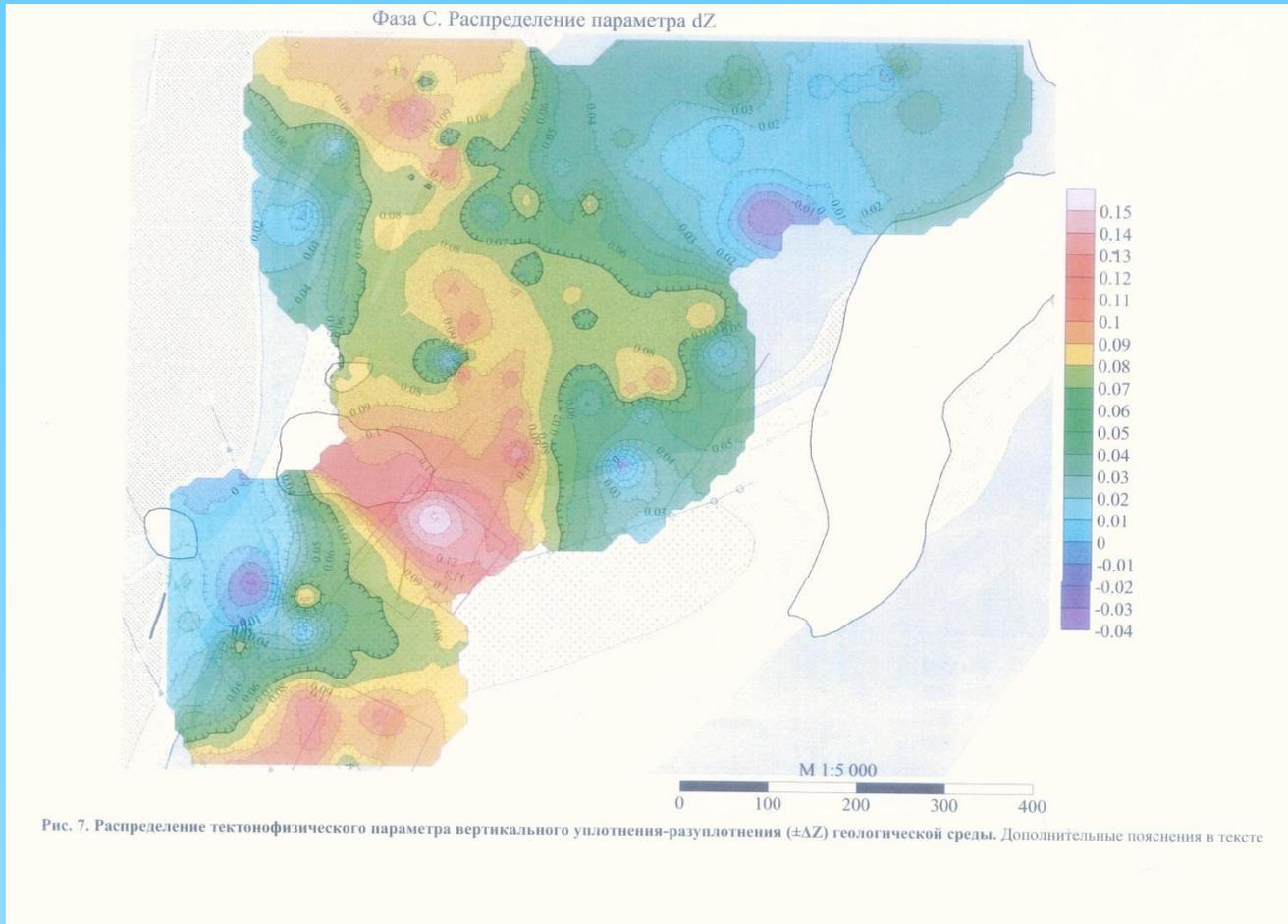


Ориентация осей главных нормальных напряжений локального ранга для Главной рудной фазы деформации (с)



Сравнение осей ЛСС с региональным напряженным состоянием Главной рудной фазы – серым фоном отмечены оси ЛСС, соответствующие оси сжатия регионального уровня – подтверждение соответствия данных реконструкции тектонических напряжений разного ранга.

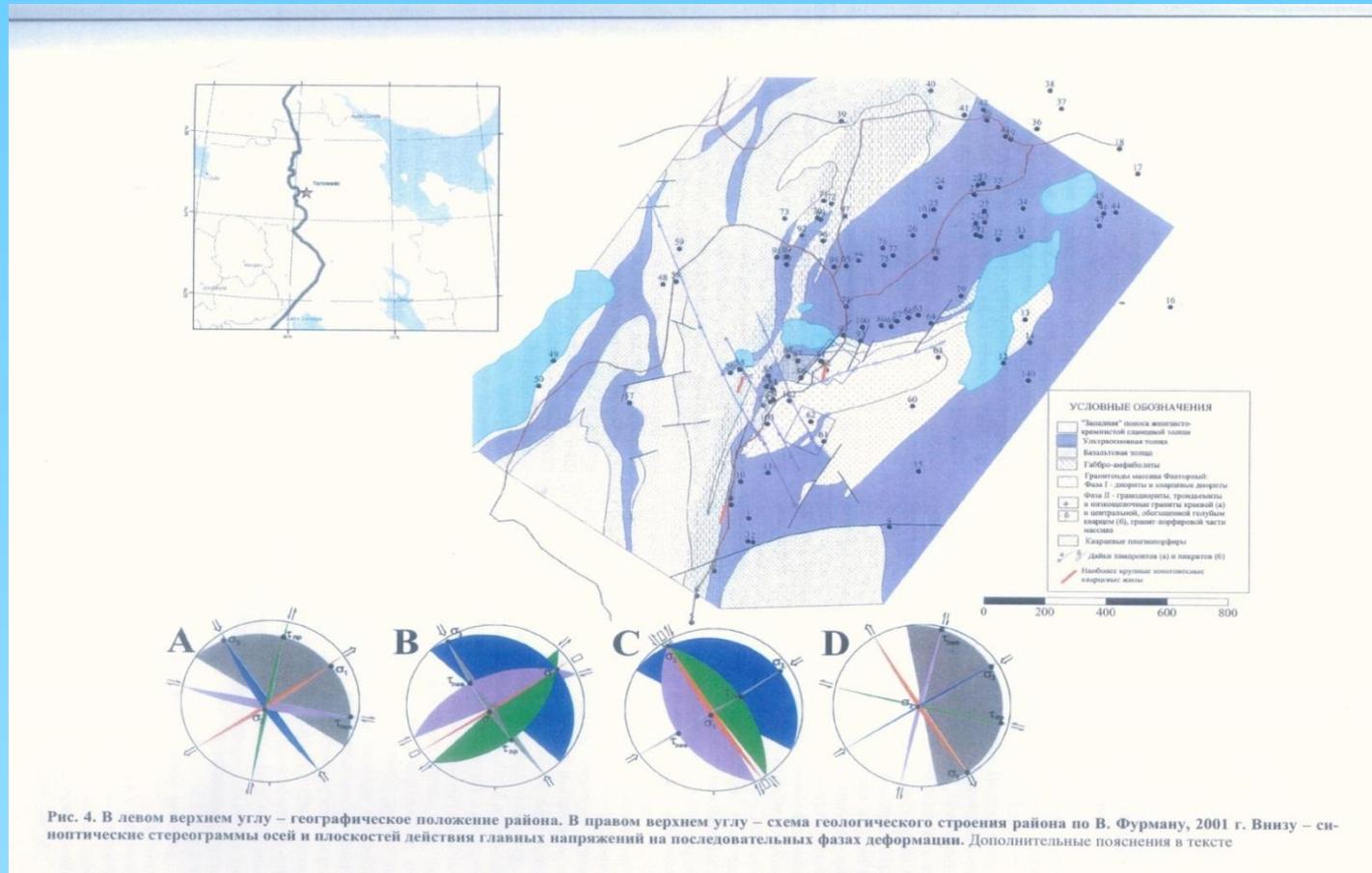
Распределение параметра $\pm\Delta Z$



Изменчивость параметра $\pm\Delta Z_{\text{лок}}$ (вертикальное уплотнение-разуплотнение) весьма значительна по площади (также как и $\mu_{\text{лок}}$). СВ и часть ЮЗ флангов – вертикальное уплотнение, но зоны разуплотнения $+\Delta Z_{\text{лок}}$ согласуется с простиранием плоскости действия региональной оси растяжения Главной рудной фазы и с п изменчивостью простираения продуктивной зоны контакта толщ ультраосновного и гранитоидного составов.

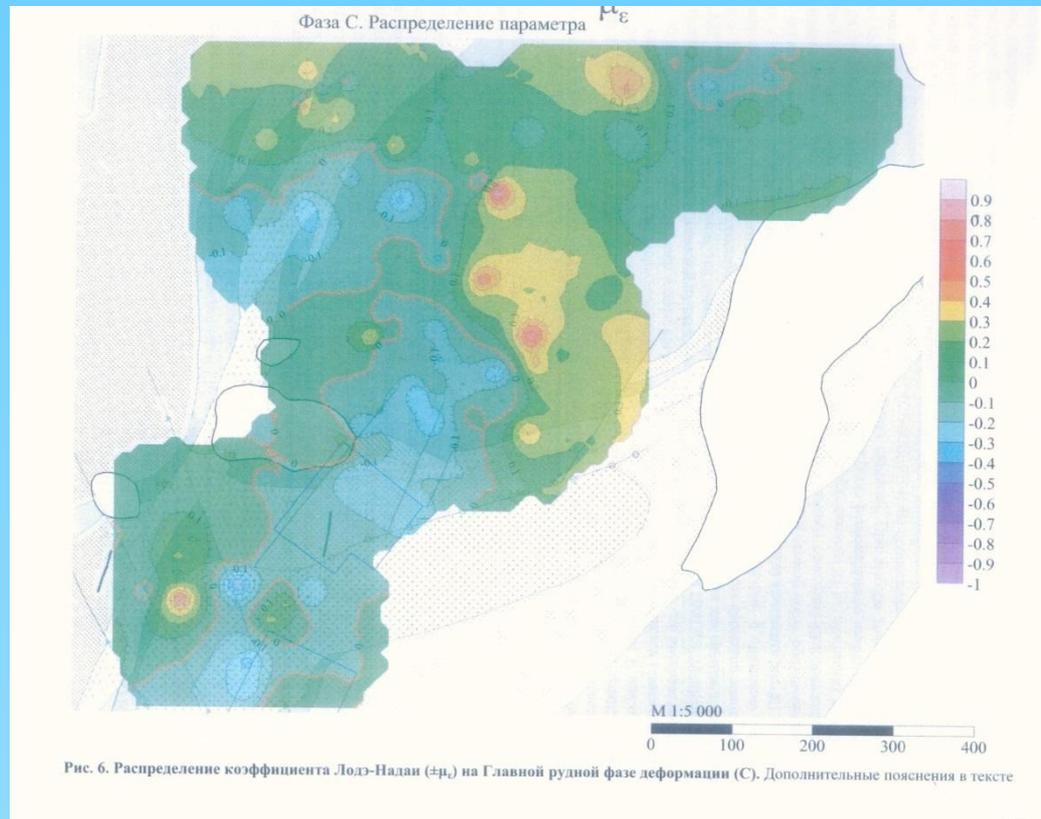
Золоторудное м-ние Таловейс (Карелия)

(по: Васильев Н.Ю., Мострюков А.О., Сунцов В.А. 2012)



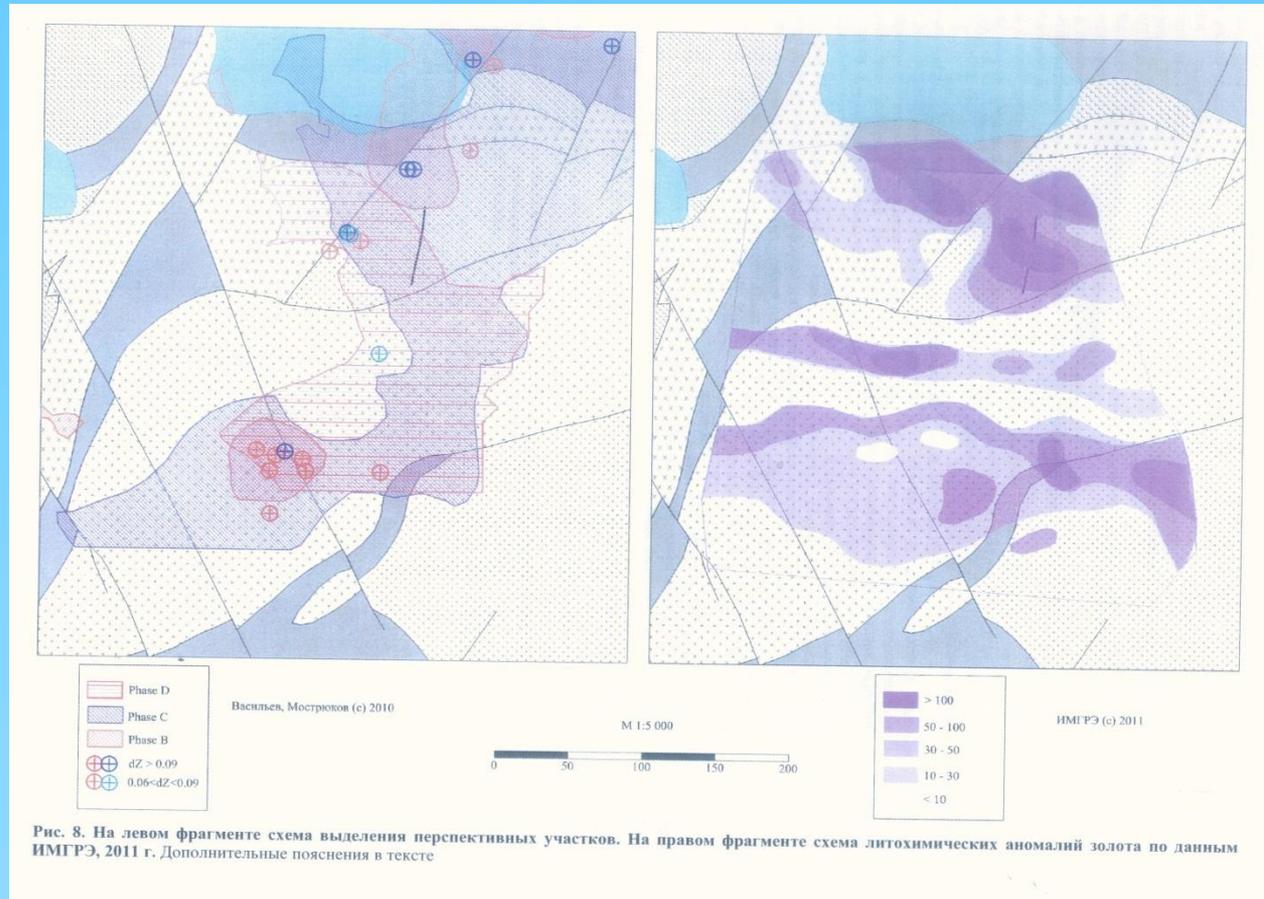
Смена механизмов деформирования от D к A . C – вертикальная ось растяжения – зоны разуплотнения, возникновение зон проницаемости – флюидо-массоперенос, метасоматоз, рудогенез – **Главная рудная фаза**. Фаза B – уплотнение структуры, возникновение складок, $\mu\sigma = +0,49$. Фаза A - $\mu\sigma = +0,19$, уменьшение уплотнения, внедрение «молодых» даек лампроитов (R), нормальными к оси растяжения; сдвиговое смещение по границе блоков. Реконструкция тектонических напряжений произведена по 1282 векторам перемещений.

Распределение коэффициента Лоде-Надаи на Главной рудной фазе деформирования



Большой диапазон изменчивости значений коэффициента Лоде-Надаи $\mu_{\sigma_{\text{лок}}}$ по площади – разнообразие «синрудных» условий локального уплотнения и разуплотнения структуры месторождения – на ЮЗ и СВ – преимущественное разуплотнение, на СЗ и ЮВ – уплотнение. Усредненное распределение μ_{σ} – два генеральных простирания – СВ-ЮЗ (плоскость действия региональной промежуточной оси σ_2 и ССЗ-ЮЮВ - простирание плоскости действия региональной оси сжатия σ_3 – процессы уплотнения на региональном и локальном уровне взаимосвязаны.

Схема выделения перспективных участков (рис.8)



Для фаз D,C,B были рассчитаны перспективные по тектонофизиологическим параметрам участки (различная штриховка – ареалы разуплотнения для фаз D,C,B, благоприятные для флюидо-массопереноса. Кружками показаны участки с оптимальным сочетанием условий деформаций для формирования обстановок рудогенеза ($\Delta Z \geq 0,09$; $-0,3 < \mu\sigma < 0$). Красный цвет – наиболее надежные, синий – менее надежные.

Оранжевый и голубой цвет - ($0,06 < \Delta Z < 0,09$; $-0,3 < \mu\sigma < 0$)– еще менее надежные участки. Сопоставление с распределением литохимических аномалий золота (ИМГРЭ,2011) – ортогональные границы аномалий совпадают с границами, выделенными по тектонофизиологическим данным.