

Лекция № 4

Тема: Линеаменты

В общем понимании, **линеамент** – это граница резкого изменения параметров географической среды, геологической структуры и геофизических полей (Полетаев, Кац, Тевелев, 1988).

В частном случае линеаменты отражают естественную делимость верхних горизонтов земной коры и могут быть связаны с конкретными тектоническими разрывами, проявляющимися как на поверхности, так и на глубине, например в фундаменте платформенных областей.

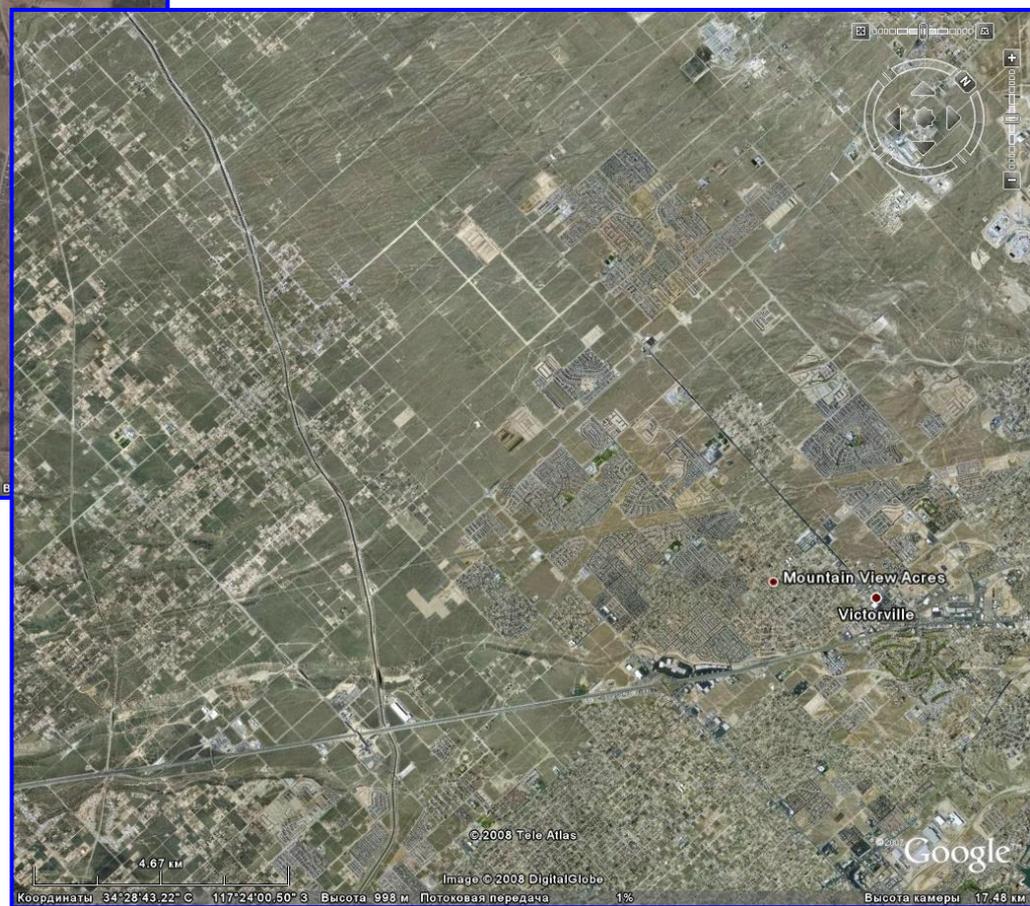


Уильям Герберт Хоббс (1864 – 1953) – первооткрыватель линеаментов – американский геоморфолог и гидрогеолог, впоследствии почетный профессор Мичиганского университета

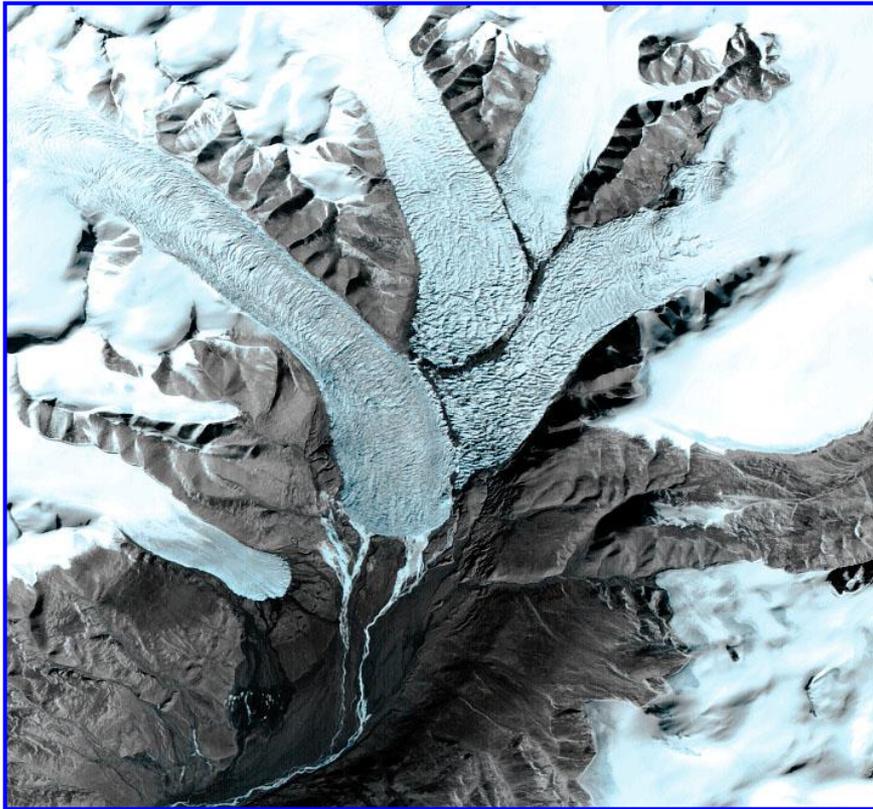
Термин «**линеамент**» был введен Хоббсом в **1904 году**.

Позднее, в 1912 г. Хоббс назвал линеаменты «*важными линиями рельефа, которые выдают скрытое строение скального основания*»

Антропогенные линеаменты

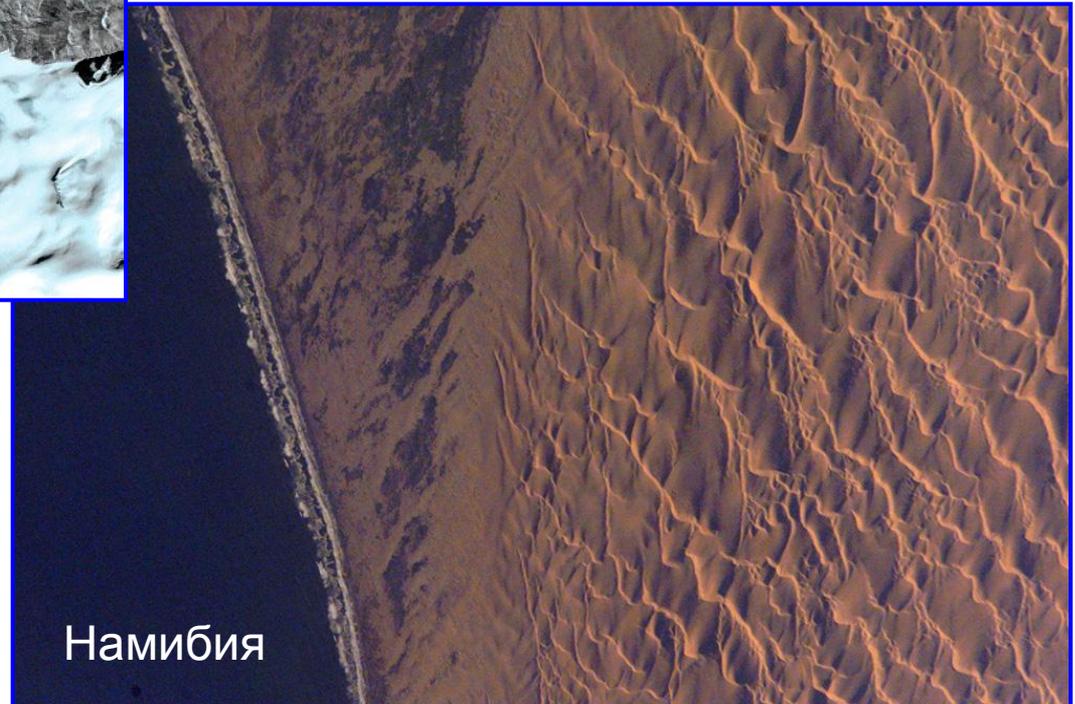


Первично-геоморфологически обусловленные линеаменты



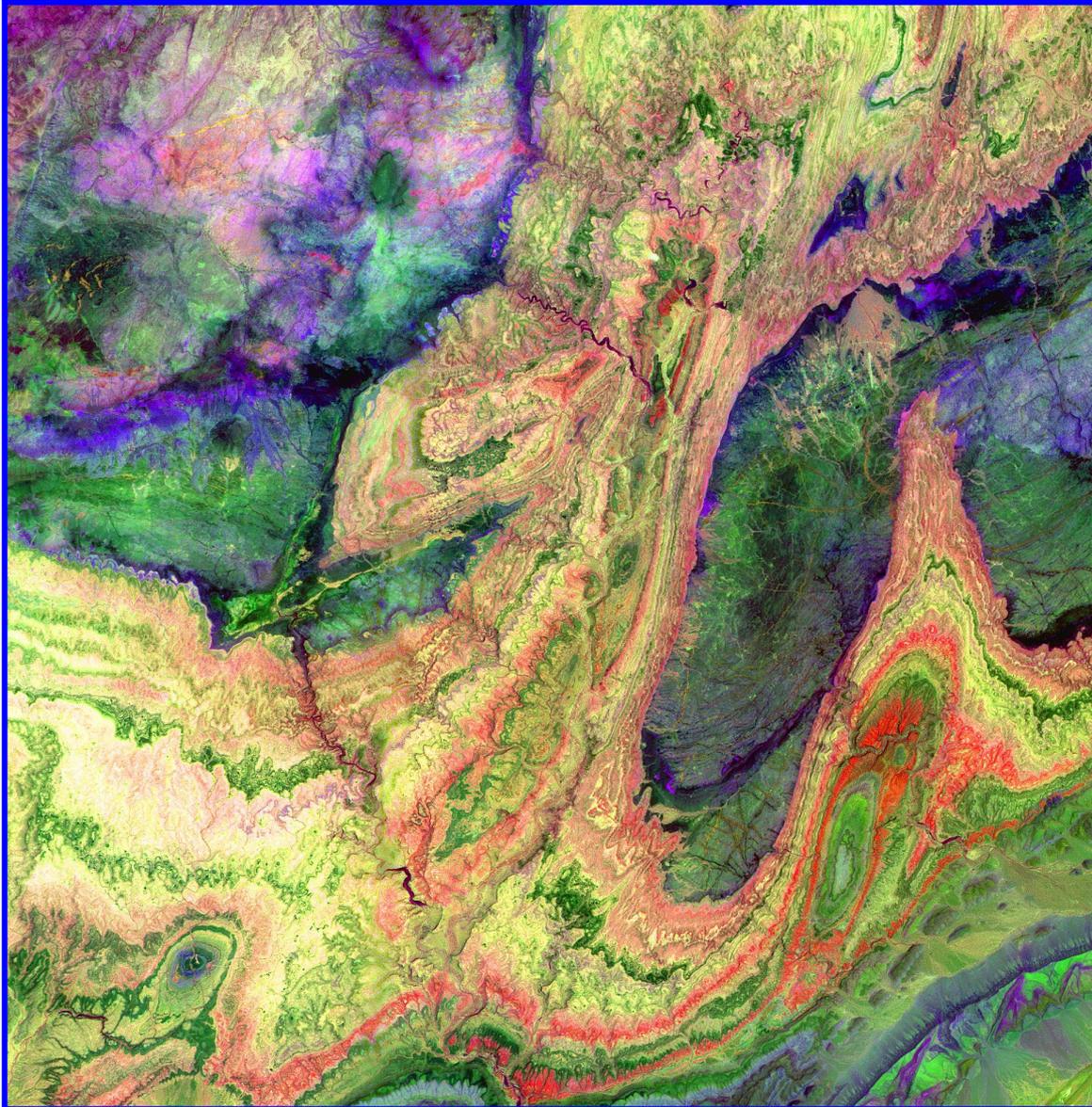
экзарационная
- троговая
долина

Продольные дюны



Намибия

Геологически обусловленные линеаменты



связанные с наличием контактов разных толщ (пачек) горных пород и отражающие наличие разрывных тектонических нарушений

Горы Антиатласа Марокко сформировались в результате столкновения Африканской и Евразийской тектонических плит приблизительно 80 миллионов лет назад. Это столкновение разрушило Океан Тетис; известняк, песчаник, аргиллит, и гипсовые слои, которые сформировали дно океана, были сильно перемяты. Желтоватые, оранжевые и зеленые области - известняки, песчаники и гипс; темно-синие и зеленые области - гранитные породы.

Геологически обусловленные линеаменты



Дельта
р. Селенга

1904г. - «не более чем прямолинейная особенность (черта) земной поверхности (У. Хоббс);

1938г. - «...определенное направление, имеющееся в тектонике (в ориентировке трещин) и в рельефе» (Р.Зондер);

1967г. - «...прямолинейные или слегка искривленные выравнивания топографических особенностей в региональном масштабе, считающиеся обычно как отражение кристаллической структуры (фундамента)» (Дж. Деннис);

1970г. - «... понятие географическое, а не чисто геологическое ... это не разлом, а только линия, рисуемая в рельефе или ландшафте и большей частью лишь отражающая разломы или ... планетарную трещиноватость» (С.С.Шульц-ст.);

1973 - «...линейные или дугообразные структурные элементы планетарного значения, связанные с глубинными разломами» (Геологический словарь, т.1);

1981г. - «...прямолинейные или пологоизогнутые более или менее узкие высокоградиентные зоны изменения различных характеристик поверхности, частным случаем которых являются разрывы» (В.И.Макаров);

1999г. - «...линейные объекты дешифрирования на материалах дистанционных съемок» или «...линейные неоднородности (разломы и флексурно-разрывные зоны) земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, глубины и возраста заложения, которые проявлены в приповерхностной структуре прямо (разломами) или опосредованно (ландшафтными аномалиями) (Н.П.Костенко, Н.В.Макарова, Н.И. Корчуганова).

**Некоторые системы классификации
линеаментов основанные на
следующих их характеристиках:**

- Размеры (длина) линеаментов.**
- Отношение к геологическим
Структурам**
- глубинность заложения**

Размеры (длина) линеаментов.

Классификация по О.М.Борисову и А.К.Глуху:

- криптолинеаменты (1-10 м),**
- инфралинеаменты (10-100 м),**
- микролинеаменты (0,1-1 км),**
- мезолинеаменты (1-10 км),**
- макролинеаменты (10-100 км),**
- супралинеаменты (100-1000 км),**
- мегалинеаменты (1000-10 000 км),**
- транслинеаменты (более 10 000 км).**

Отношение к геологическим структурам.

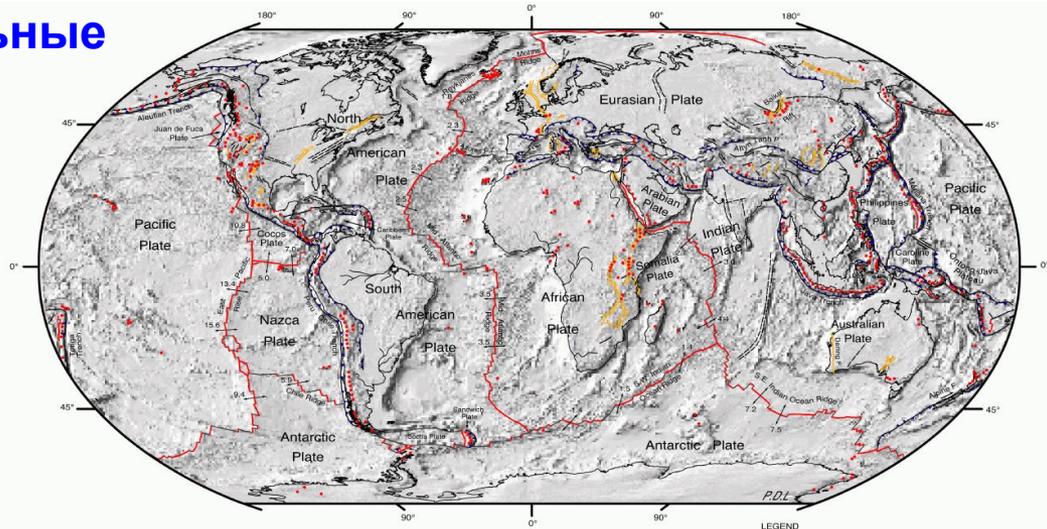
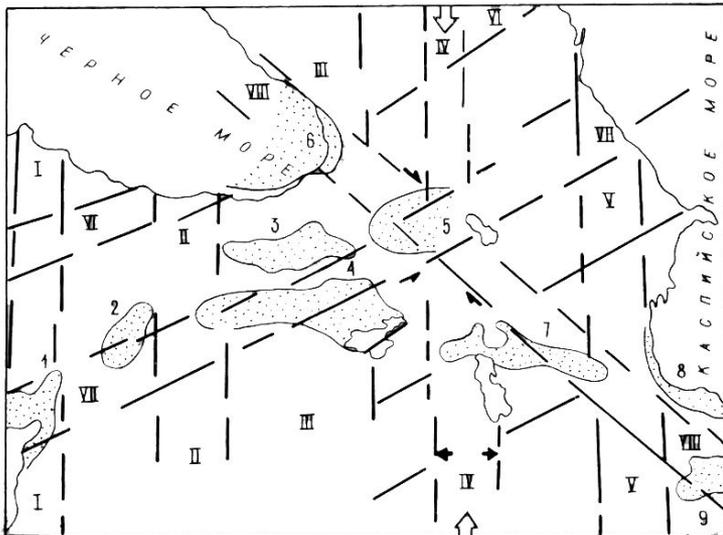
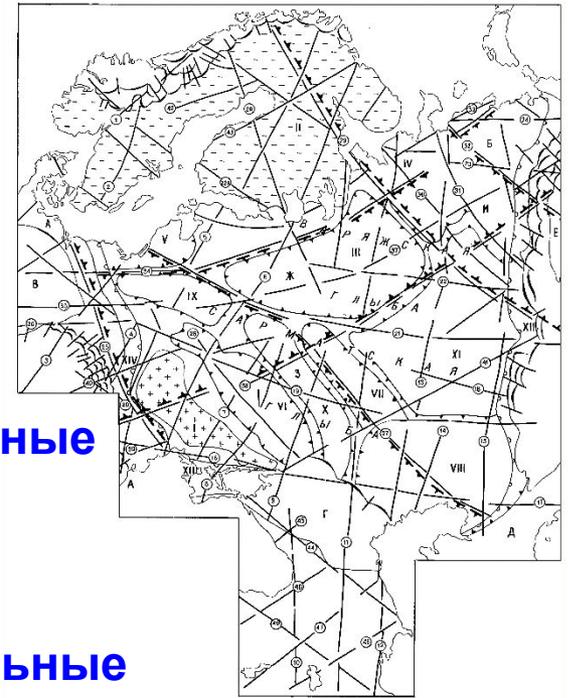


локальные

континентальные

глобальные

региональные



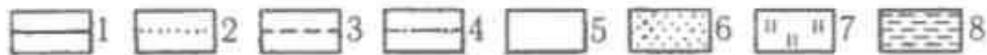
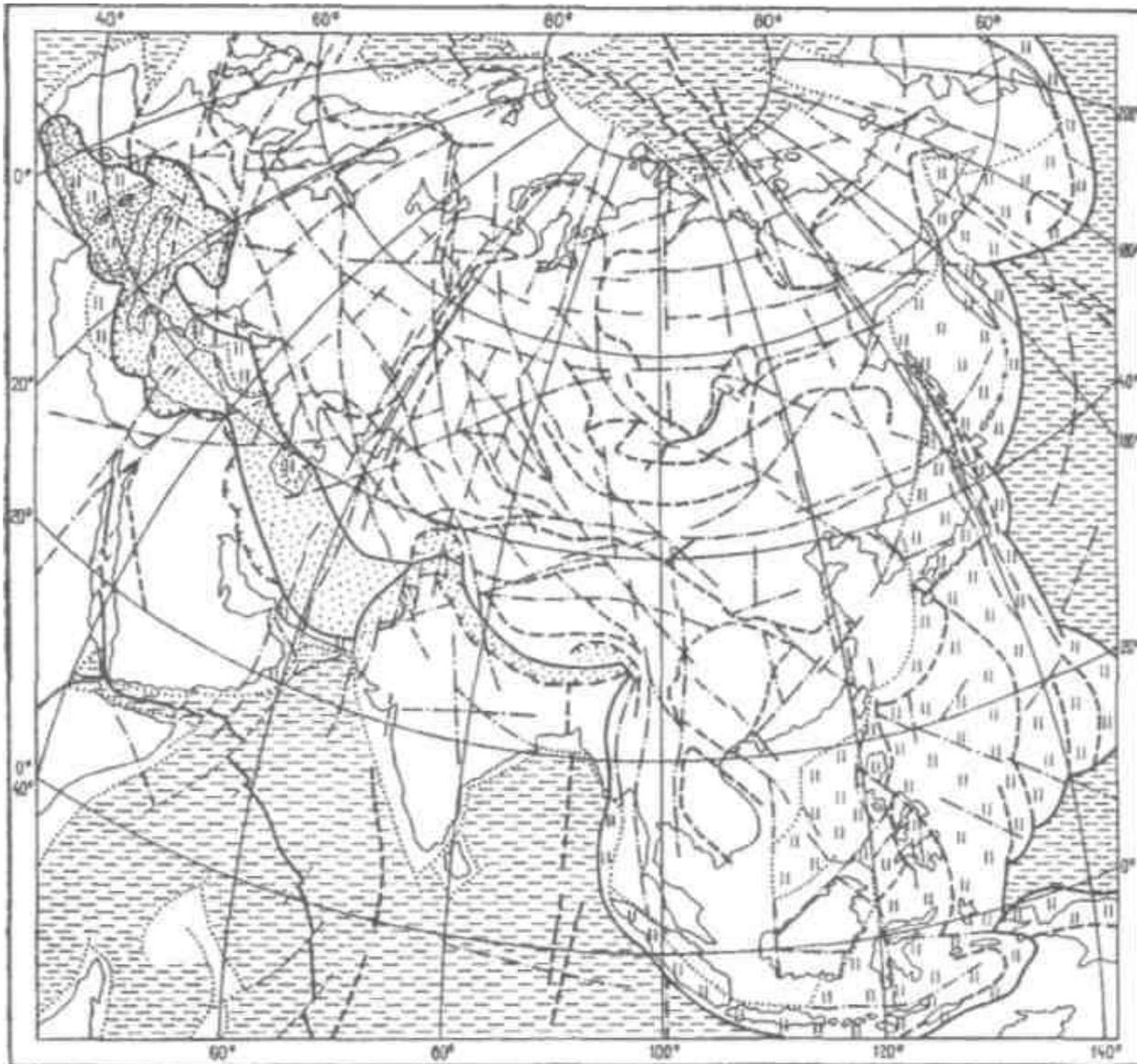
DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH
Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years

DTAM

NASA/Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771

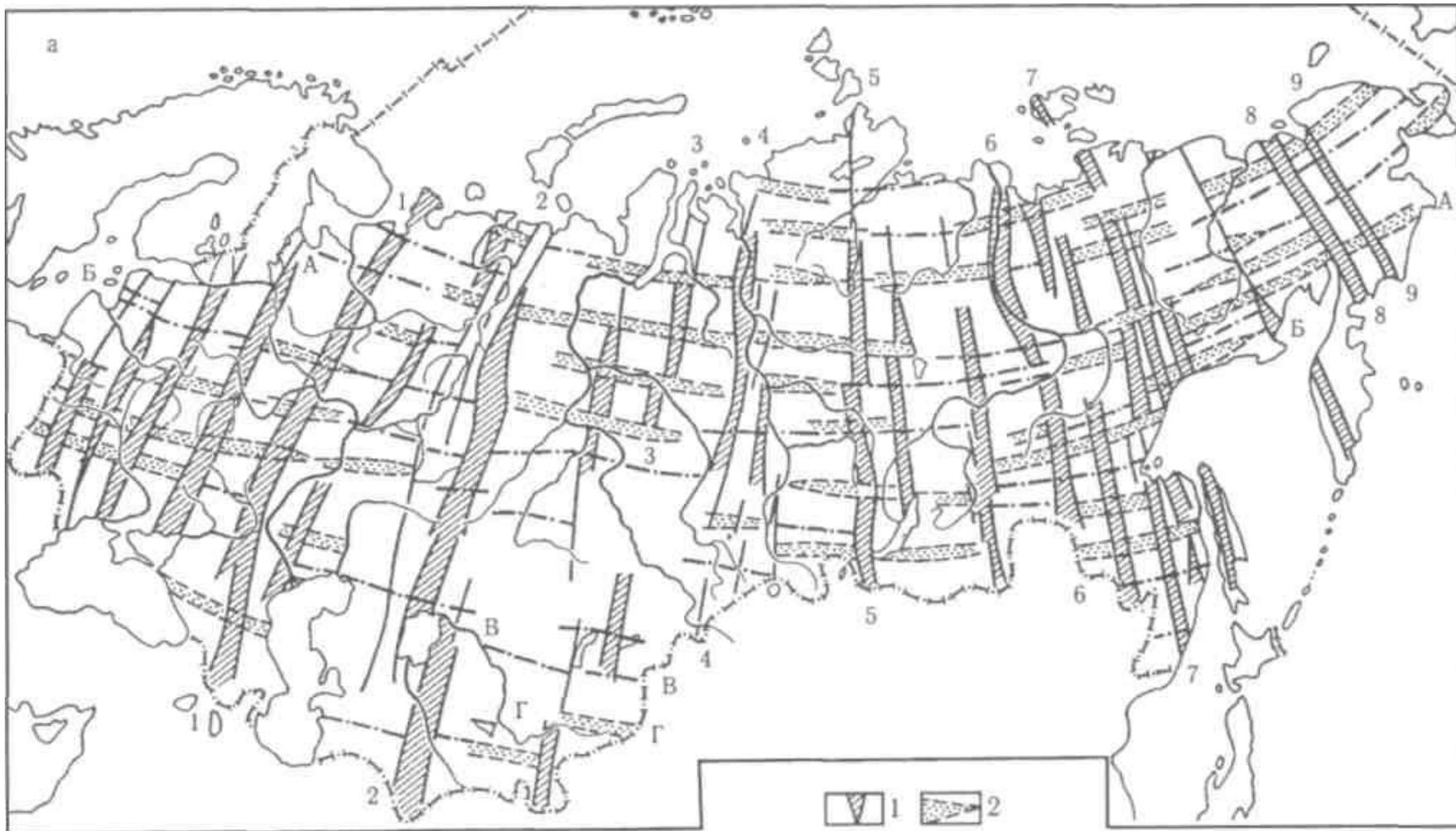
Robinson Projection
October 1998

- LEGEND**
- Actively-spreading ridges and transform faults
 - Total spreading rate, cm/year, NUVEL-1 model (DeMets et al., Geophys. J. International, 101, 425, 1990)
 - Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
 - Normal fault or rift; hachures on downthrown side
 - Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; bars on upthrown side
 - Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and amounts omitted.



**Система
трансконтинентальных
разломов Евразийского
материка и окружающих его
пространств (по
«Космогеология...»)**

- 1 —** граничные разломы современных литосферных плит; границы древних литосферных плит;
- 2 —** граничные разломы первого ранга, опоясывающие мегаблоки континентальной коры;
- 3 —** граничные разломы второго ранга внутри континентальной коры;
- 4 —** трансконтинентальные разломы;
- 5 —** земная кора континентального типа;
- 6 —** переходная земная кора Средиземноморского складчатого пояса;
- 7 —** переходная земная кора Тихоокеанского складчатого пояса;
- 8 —** океаническая земная кора



Схемы размещения основных зон линеаментов (по «Космогеология...»)
 а — ортогональной системы: 1 — меридиональные, 2 — широтные



б — диагональной системы: 1 — север-северо-западные и север-северо-восточные, 2 — запад-северозападные и восток-северо-восточные



Трещиноватость в докембрийских образованиях, Намибия

Глубинность заложения.

По положению линеаментов в разрезе литосферы они классифицируются на:

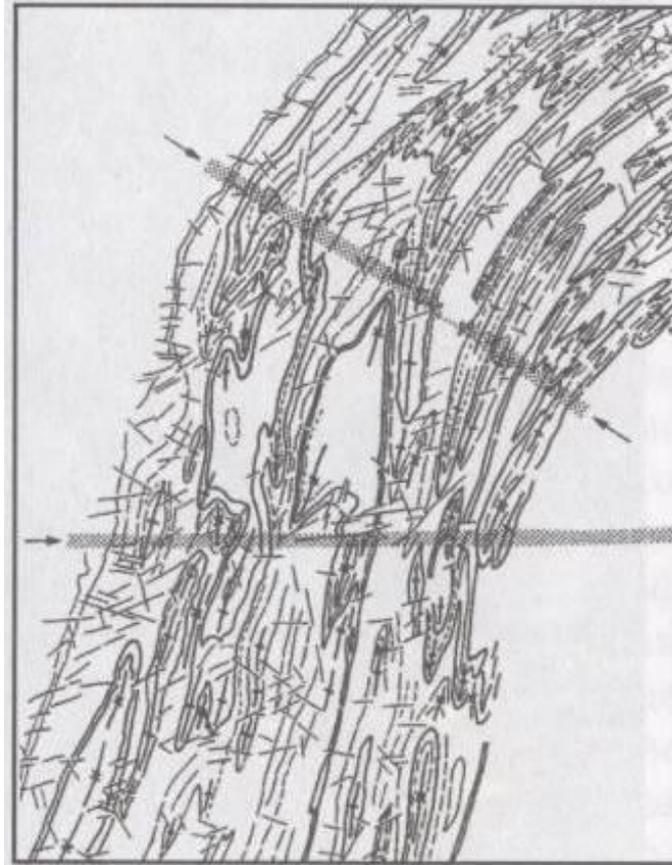
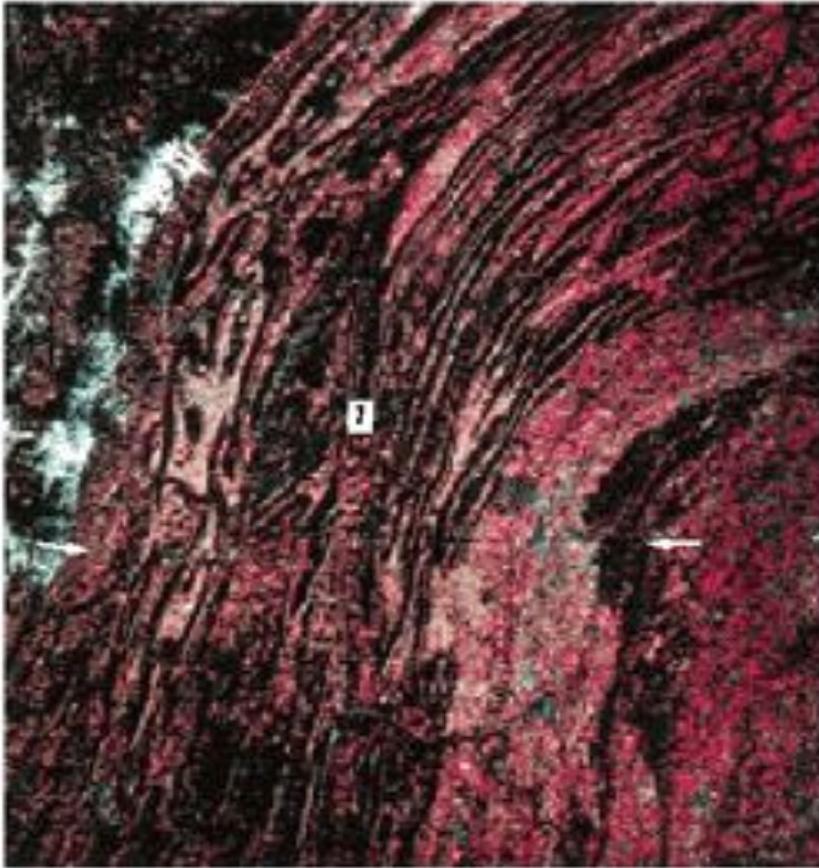
- приповерхностные и глубинные,
- верхнекоровые,
- нижнекоровые или коровые,
- верхнемантийные.

Есть классификации характеризующие пространственно-генетические соотношения линеаментов с зонами в пределах которых они развиваются, либо их ограничивают, либо транзитны к ним:

- **внутренние (внутри-блоковые, внутриплитные и т.п.) линеаменты**
 - **внешние или граничные линеаменты**
 - **сквозные или транзитные линеаменты (в том числе, трансзональные, трансрегиональные, трансорогенные, трансконтинентальные).**

В этой же системе классификации находится разделение линеаментов относительно генеральных направлений тектонических поясов, зон, подзон, локальных структур, разломов

- **продольные и секущие**
- **поперечные и диагональные**
- **радиальные**

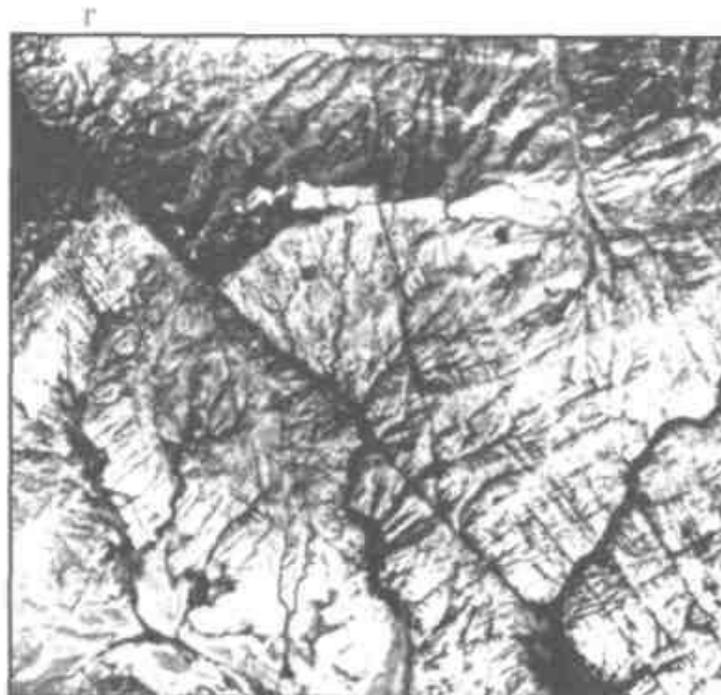


КС и структурная карта района Аппалачских гор

Складчатую структуру, осложненную продольными надвигами, секут линеаменты, которые проявлены изменениями азимута простираия и рисунка складок

Исходя из способов регистрации и особенностей методов изучения линеаментов, в литературе встречаются следующие названия линеаментов:

- гипсографические или топографические линеаменты (**тополинеаменты**),
- **батилинеаменты** (для рельефа морского дна),
- **морфоструктурные линеаменты** (т.е. проявленные в структурно-геоморфологических или морфоструктурных особенностях земной поверхности),
- **линевенты** (выраженные в рельефе спрямленные элементы длиной в сотни метров - первые километры),
- **геолинеаменты** (выделяются по анализу рисунка геологических карт),
- **геофизические линеаменты**, в том числе выделяемые по структуре магнитных полей (**магнитолинеаменты**),
- гравитационных полей (**гравилинеаменты**)
- тепловых полей (**термолинеаменты**)
- **сейсмолинеаменты** (по закономерностям пространственного положения очагов землетрясений (сейсмические дорожки, линейные узкие зоны высокой сейсмической активности))
- **фотолинеаменты** (дешифрируемые на аэрокосмоснимках)
- **космолинеаменты** (установленные на любых космических изображениях).



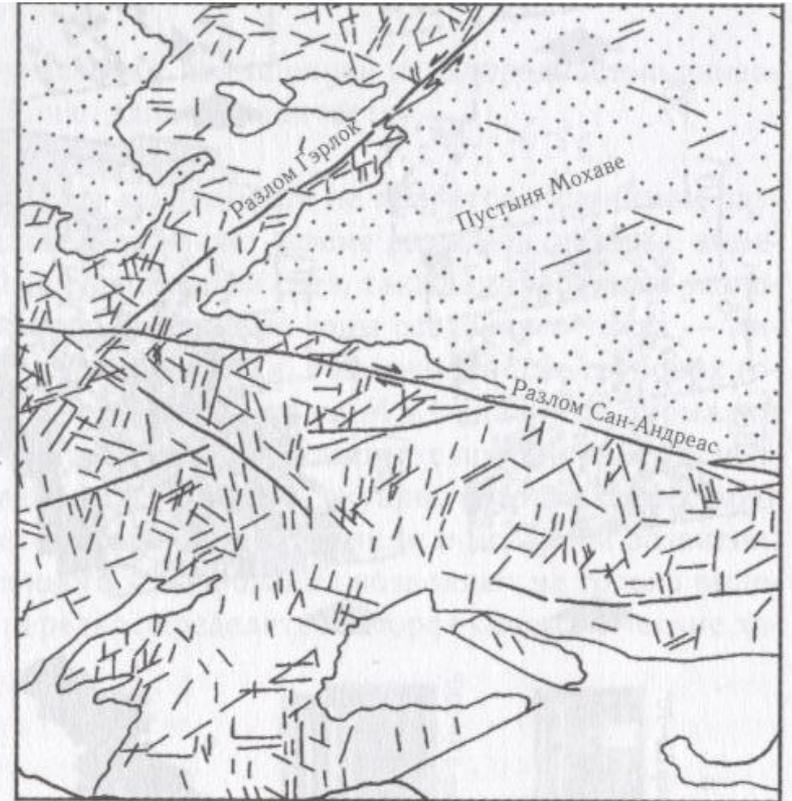
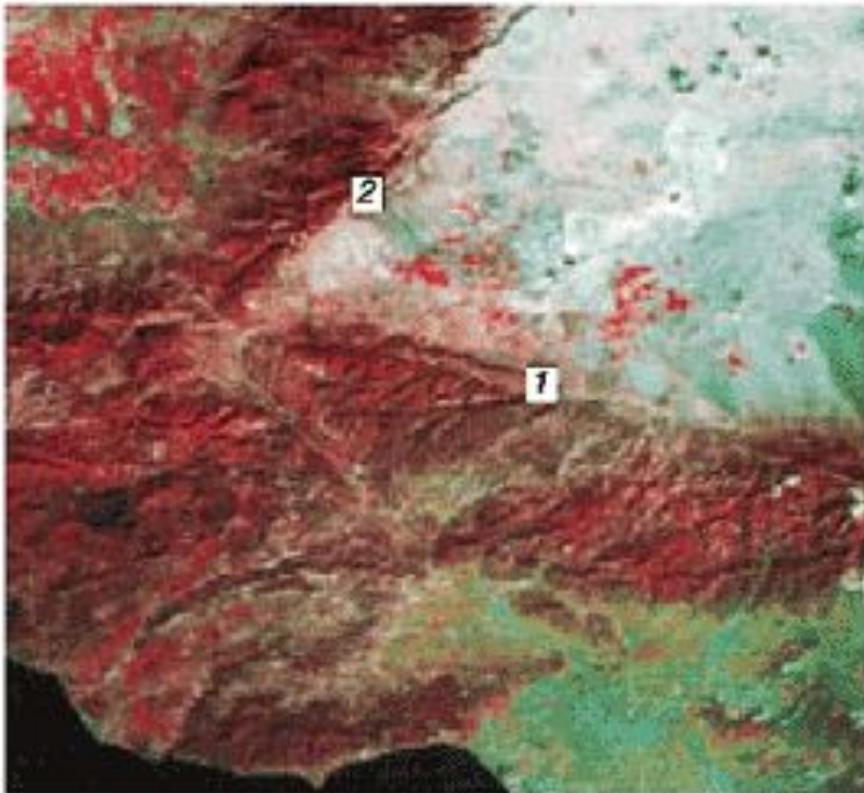
а — зона сбросо-сдвига, границная для предгорной равнины и горно-складчатого сооружения, Средняя Азия;

б — раздвиг в базальтах триаса, Восточная Сибирь;

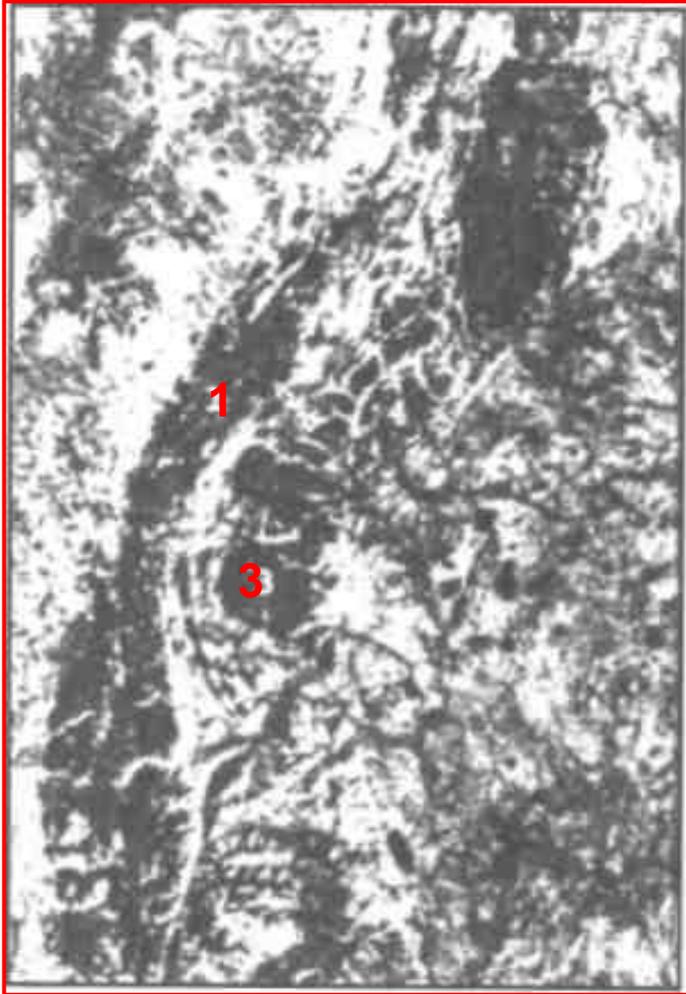
в — сбросы, нарушающие покровы базальтов триаса, Восточная Сибирь;

г — правосторонний сдвиг в гранитоидах, Казахстан

Разрывные нарушения на КС

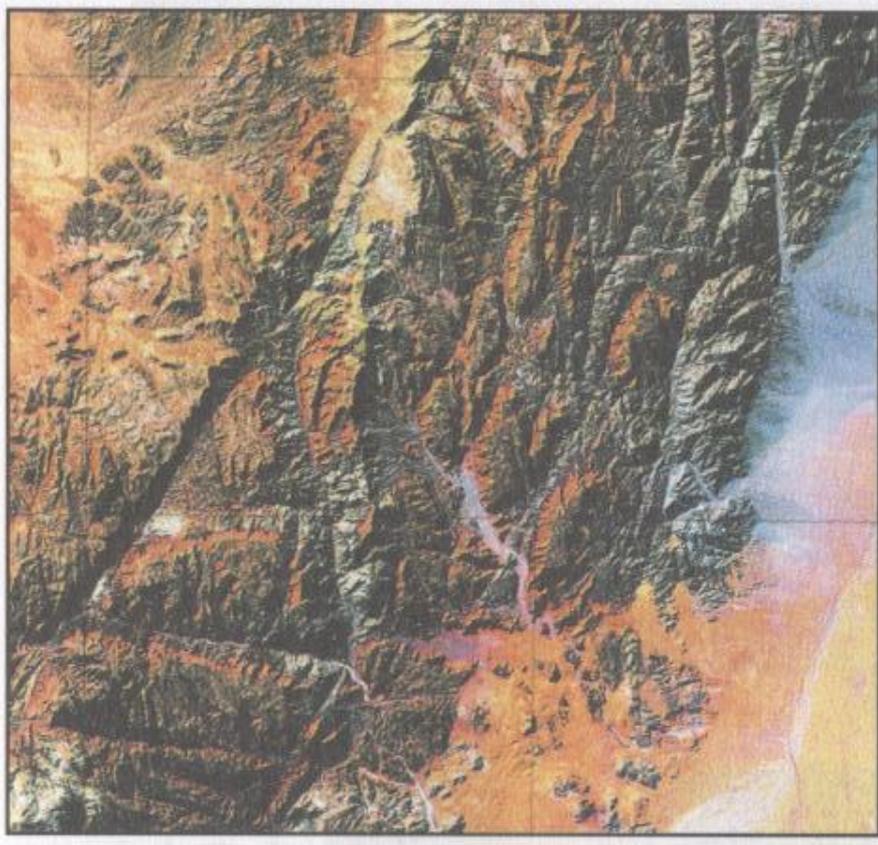


Региональные сдвиги (1- Сан-Андрес, 2 - Гэрлок) на КС (а) и схема дешифрирования разрывных нарушений (б). Калифорния

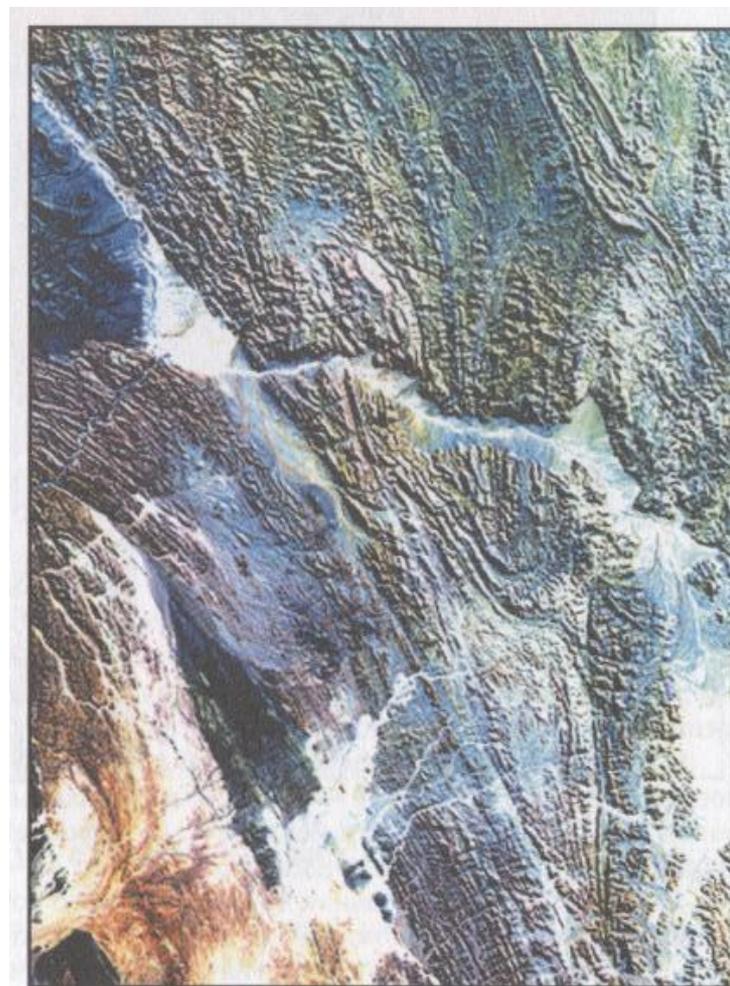


Системы надвиговых пластин.
Уральская складчатая система
(Полярный Урал).

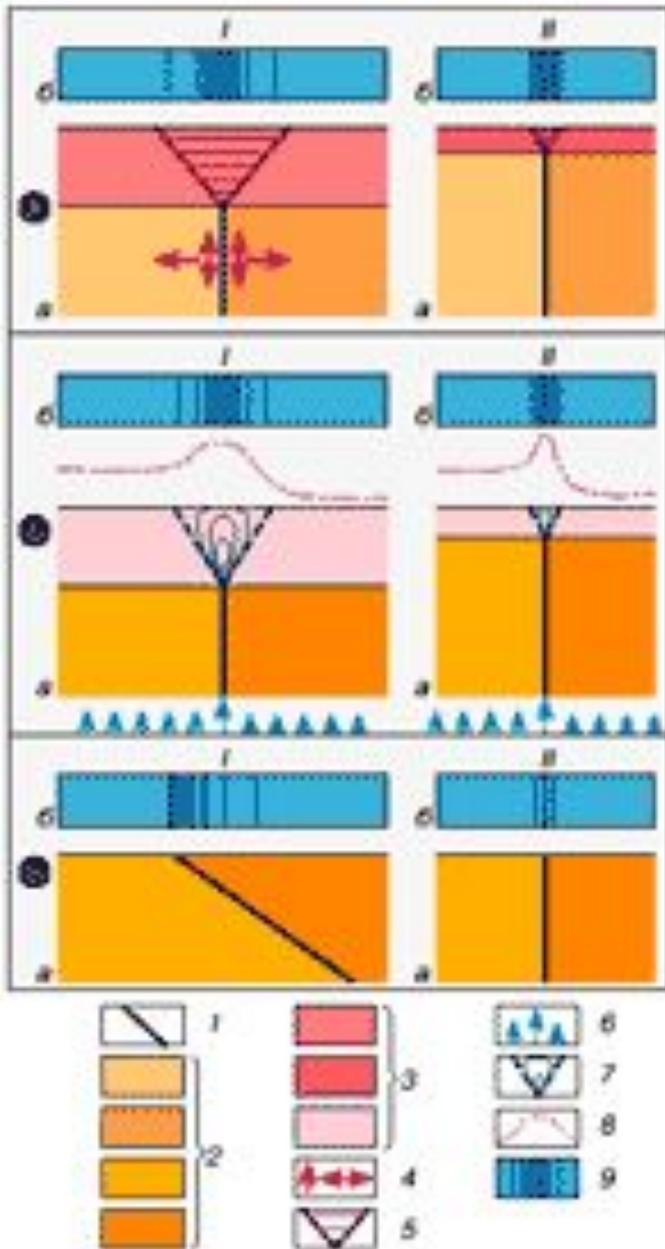
- 1 — метаморфизованные карбонатные и вулканогенно-осадочные образования С-О;
- 2 — силлы габбро-диабазов R3;
- 3 — габброиды О-S1;
- 4 — диориты *D*



Системы разломов, Израиль



Линеамент Пуррос (взбросо-сдвиг,
Намибия)



объясняется тем, что процессы, происходящие на разных глубинных уровнях литосферы. Многие линеаменты являются погребенными разломами складчатого фундамента или флексурными и трещинными зонами осадочного чехла. Проявление этих деформаций на космических снимках объясняется тем, что процессы, происходящие на разных глубинных уровнях литосферы, воздействуют на вышележащие слои, передавая тепловой, флюидно-газовый потоки и механические деформации. Многие линеаменты являются погребенными разломами складчатого фундамента или флексурными и трещинными зонами осадочного чехла. Проявление этих деформаций на космических снимках объясняется тем, что процессы, происходящие на разных глубинных уровнях литосферы, воздействуют на вышележащие слои, передавая тепловой, флюидно-газовый потоки и механические деформации, определяя особенности

Линейные структуры Марса



Типичная система грабенов и разломов - Керавнские борозды (слева) в области вулкано-тектонического поднятия Фарсида, вулканические купола Урана (вверху), Керавнский (внизу) и патера Урания (справа). Фото «Викинга-1»

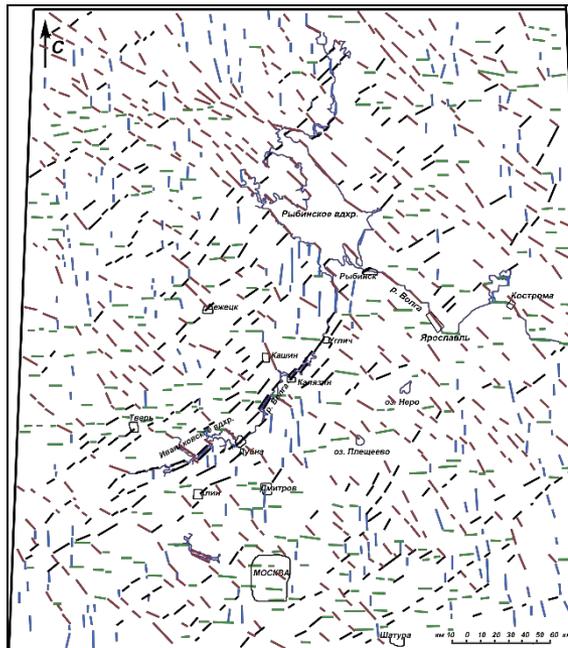


Каньоны Мелас, Кандор и Офир в долине Маринера

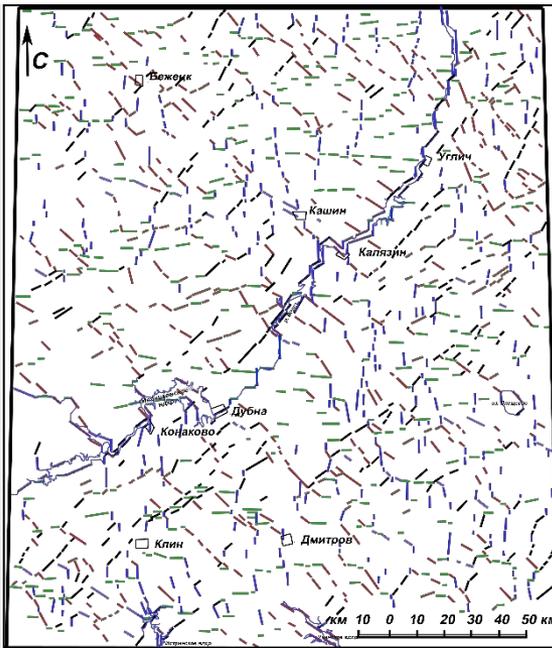


Ярусы скал на севере Марса

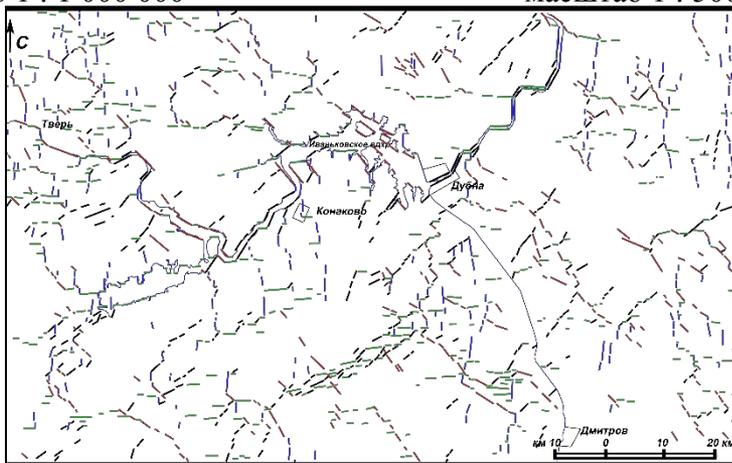
Результаты визуального дешифрирования эрозионных сетей разного масштаба и космоснимка



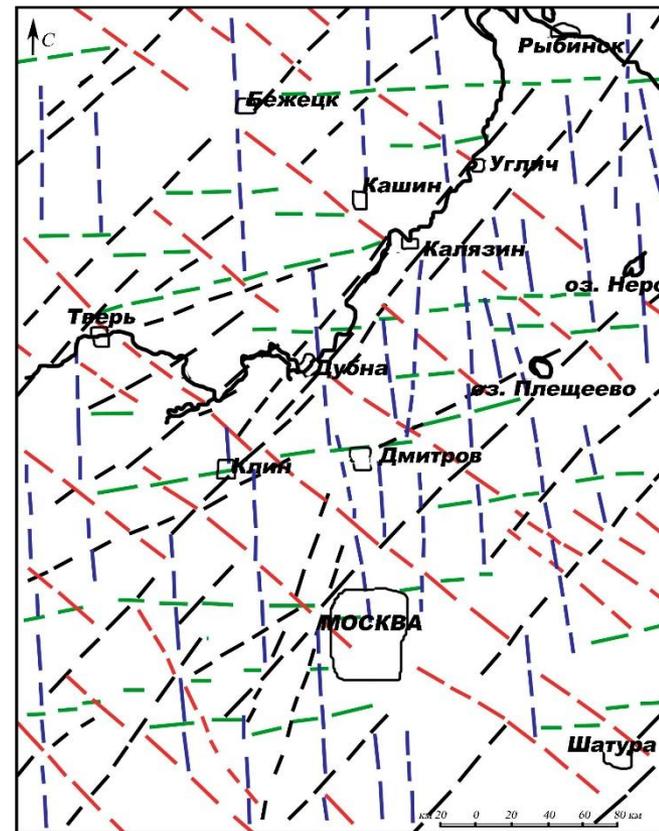
масштаб 1 : 1 000 000



масштаб 1 : 500 000

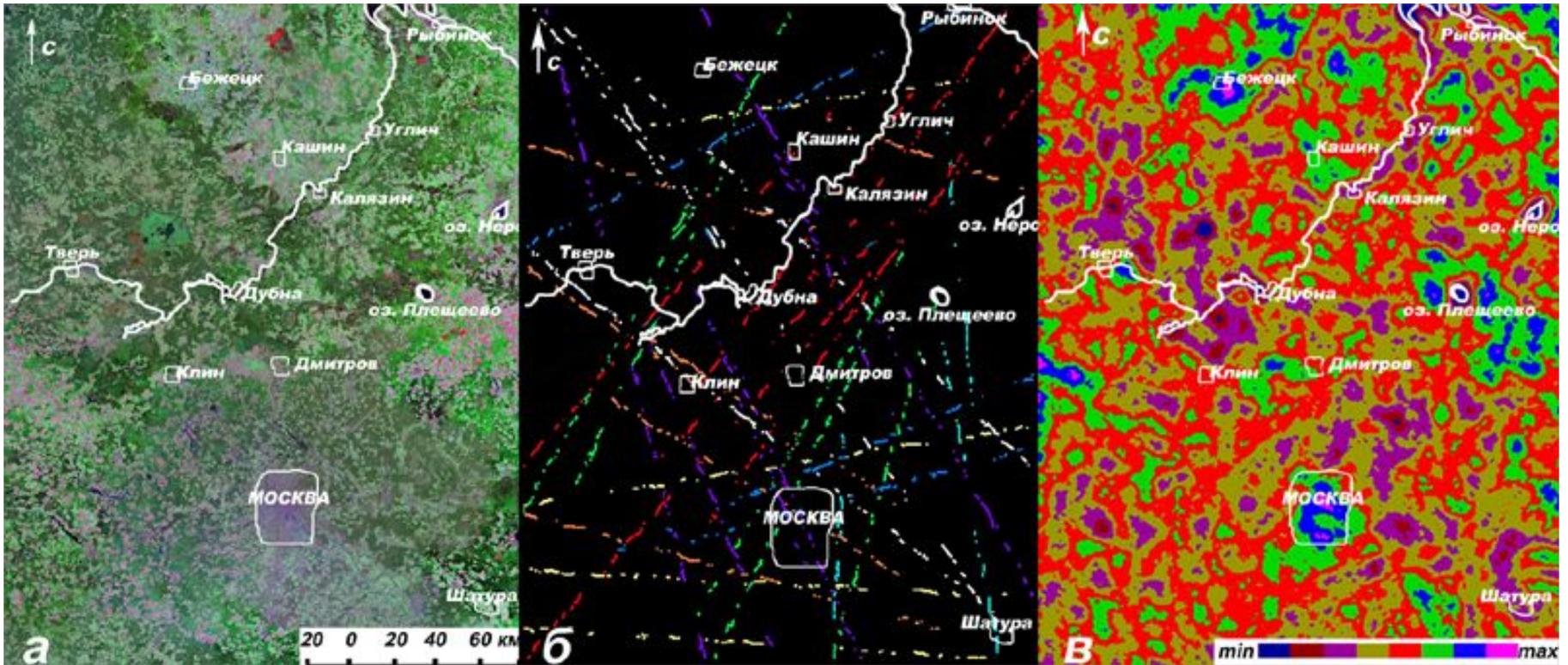


масштаб 1 : 200 000



Космоснимок со спутника Landsat-4, низкого разрешения

Результаты компьютерного дешифрирования космоснимка по программе «LESSA»

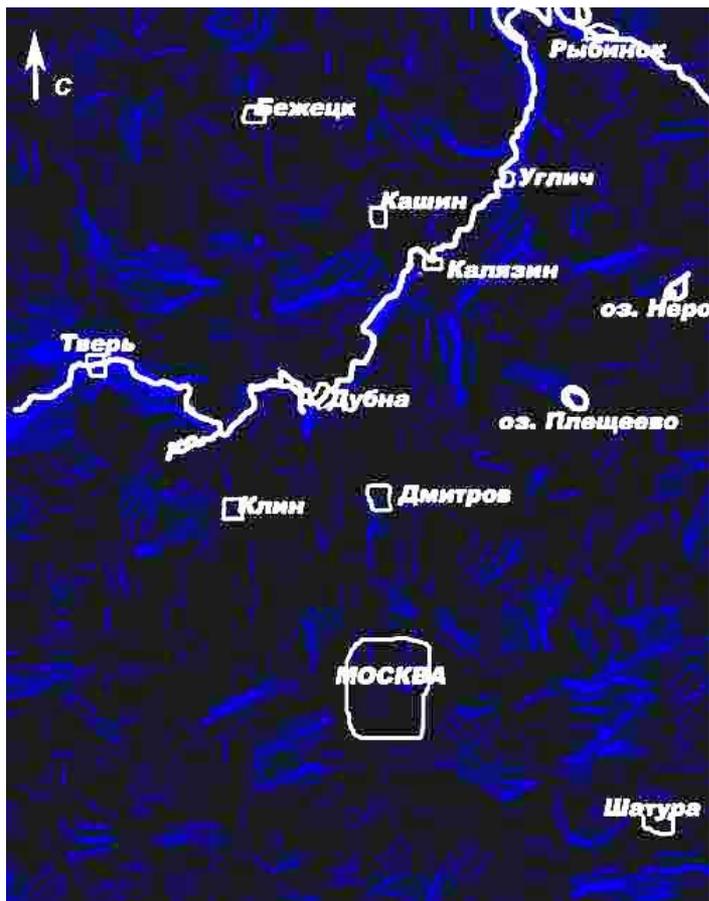


● Космоснимок со спутника Landsat-4

● Схема наиболее представительных линеаментов всех направлений

● Схема общей плотности штрихов по всем направлениям

Результаты компьютерного дешифрирования космоснимка по программе «LESSA»

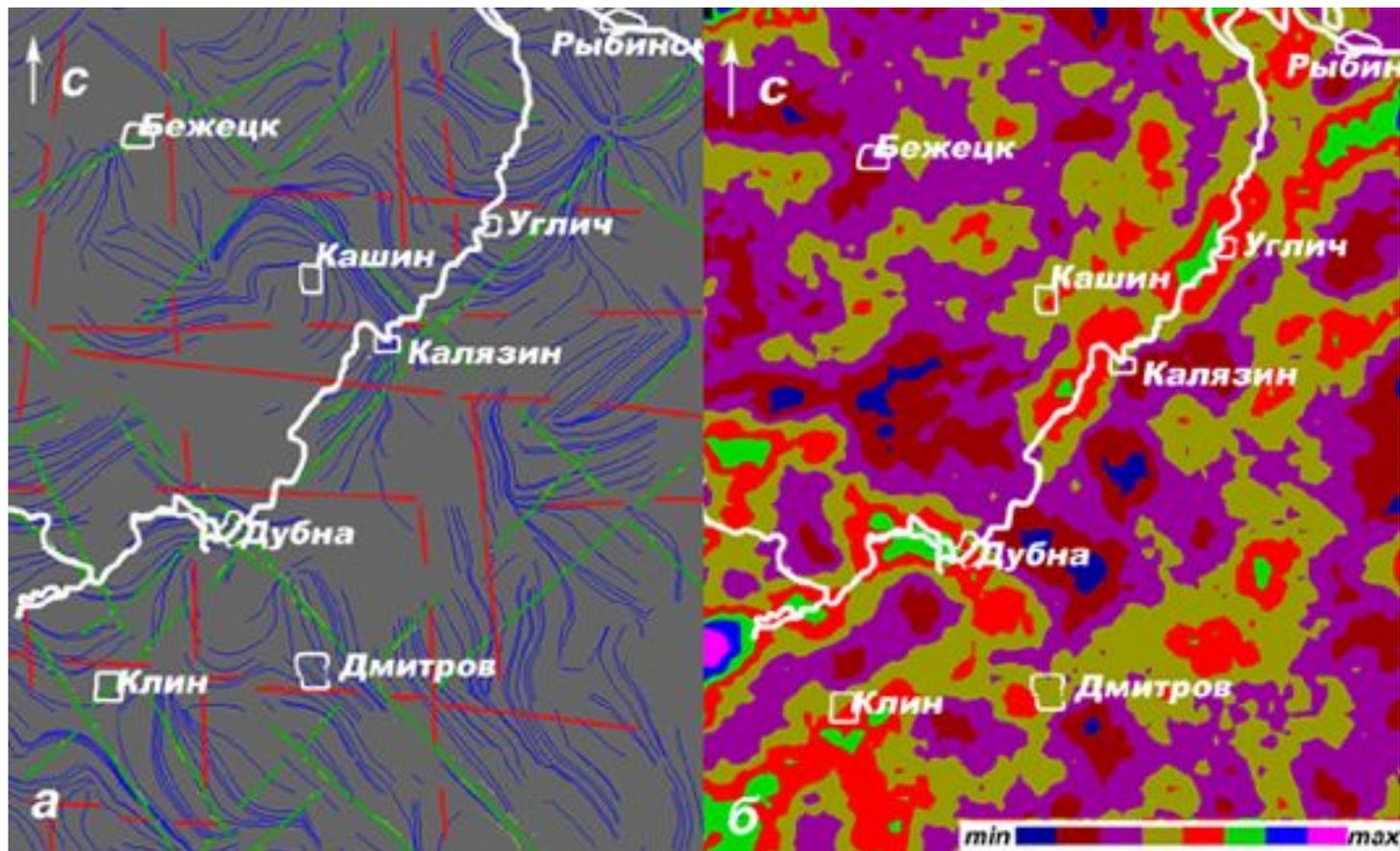


● Схема линий
вытянутости

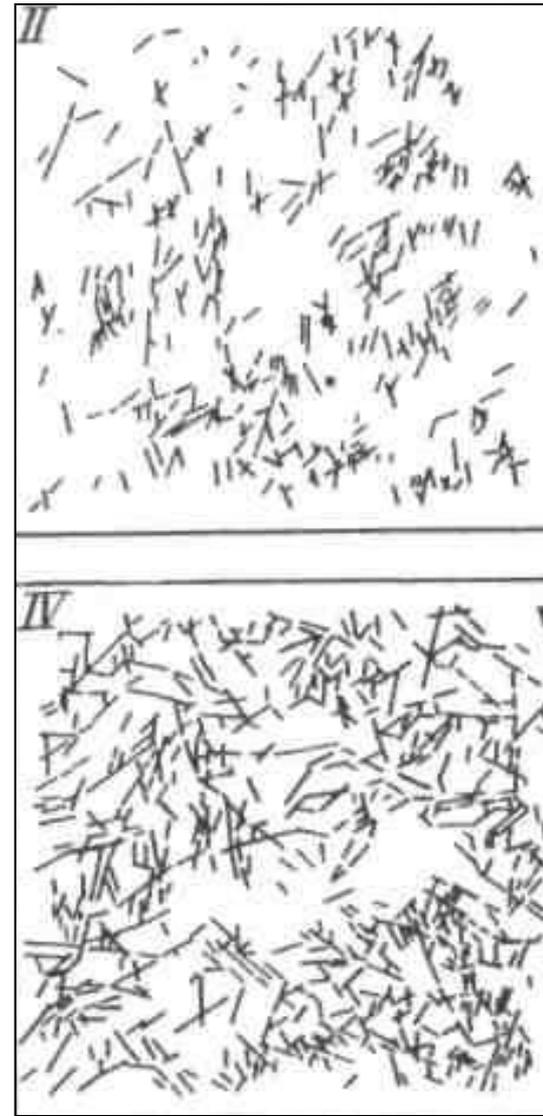
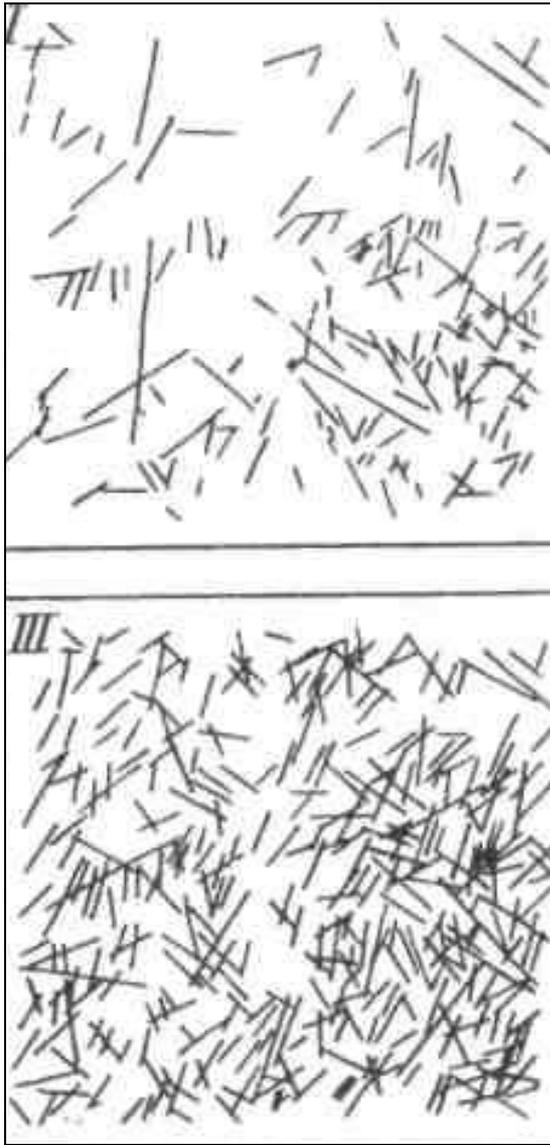


● Схема роз-диаграмм

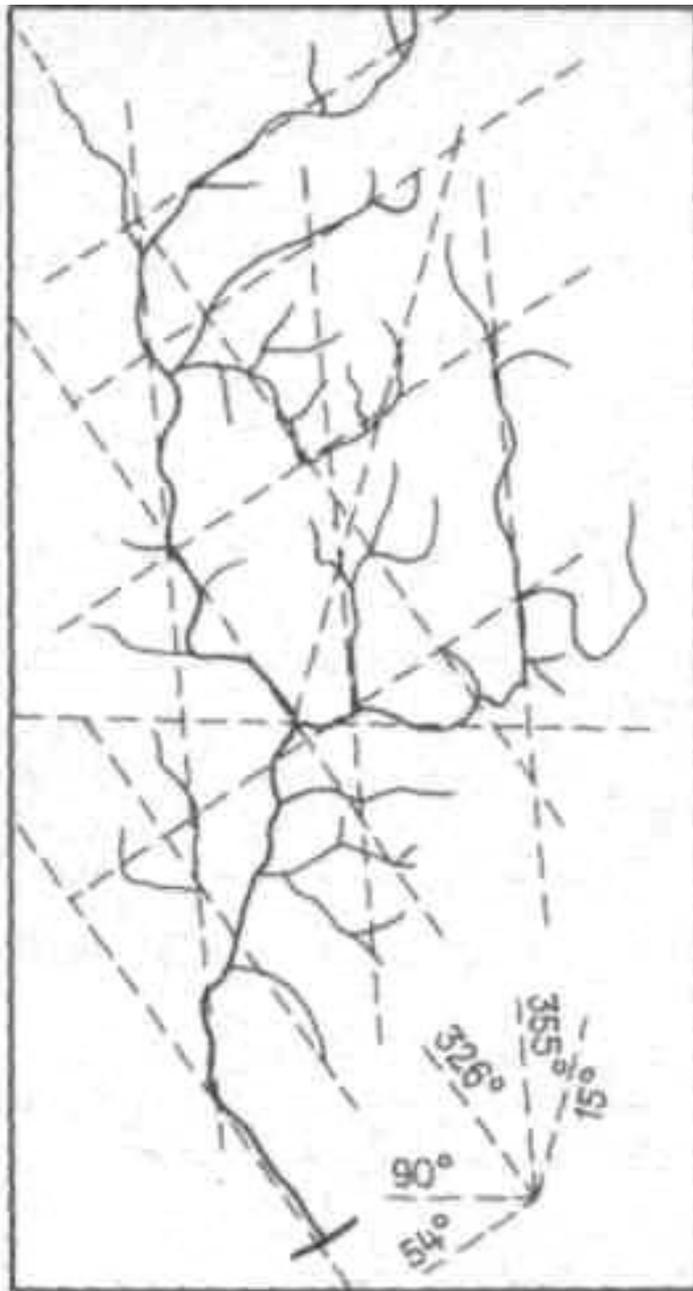
Результаты компьютерного дешифрирования топоосновы по программе «LESSA»



Результаты компьютерного дешифрирования топокарты масштаба 1:1000000:
а – схема линеаментов ортогонального и диагонального простираний и линий вытянутости; б – схема плотности линеаментов.



Сравнение линеаментов, закартированных четырьмя операторами



Гидрографическая сеть,
приуроченная к трещинным
зонам (линеаментам).
По Хоббсу

МЕТОД (от греч. Method – путь, исследование, прослеживание) – способ достижения определенной цели , совокупности приемов для операций практического или теоретического освоения действительности, в современной технологии поиска и выявления структур земной коры, перспективных для образования и концентрации месторождений полезных ископаемых, а также экологического мониторинга.

Линеаментный анализ

представляет собой хорошо разработанную схему камеральных исследований:

1. Визуальное, компьютерное и смешанное дешифрирование – поиск, выявление и картирование линейных образований земной коры – *линеаментов* по разномасштабным физико-географическим и топографическим картам, космическим (КС) и аэрофотоснимкам (АФС), а также геофизическим, сейсмическим и прочим материалам (схемам, разрезам и т.д.)

2. Пространственная корреляция выделенных линеаментов с имеющимися геологическими и геофизическими материалами, а также идентификации линеаментов, их систем (зон) с отдельными разрывами, зонами трещиноватости, и прочими линейными элементами геологического строения, установленными ранее геологическими и геофизическими полевыми (и дистанционными) методами, а также выделение автономных линеаментов и их систем, требующих дальнейшего изучения.

3. Составление разномасштабных схем линеаментной тектоники изучаемого района и полевой (наземной и аэровизуальной) проверке данных схем

4. Геодинамическая интерпретация результатов линеаментного анализа и построении результирующих схем, являющихся базовыми для уточнения и детализации закономерностей развития:

- эндогенных (например, сейсмических, вулканических),**
- экзогенных (например, карстовых) процессов и явлений,**
- размещения гетерогенных месторождений полезных ископаемых,**
- экологической обстановки.**

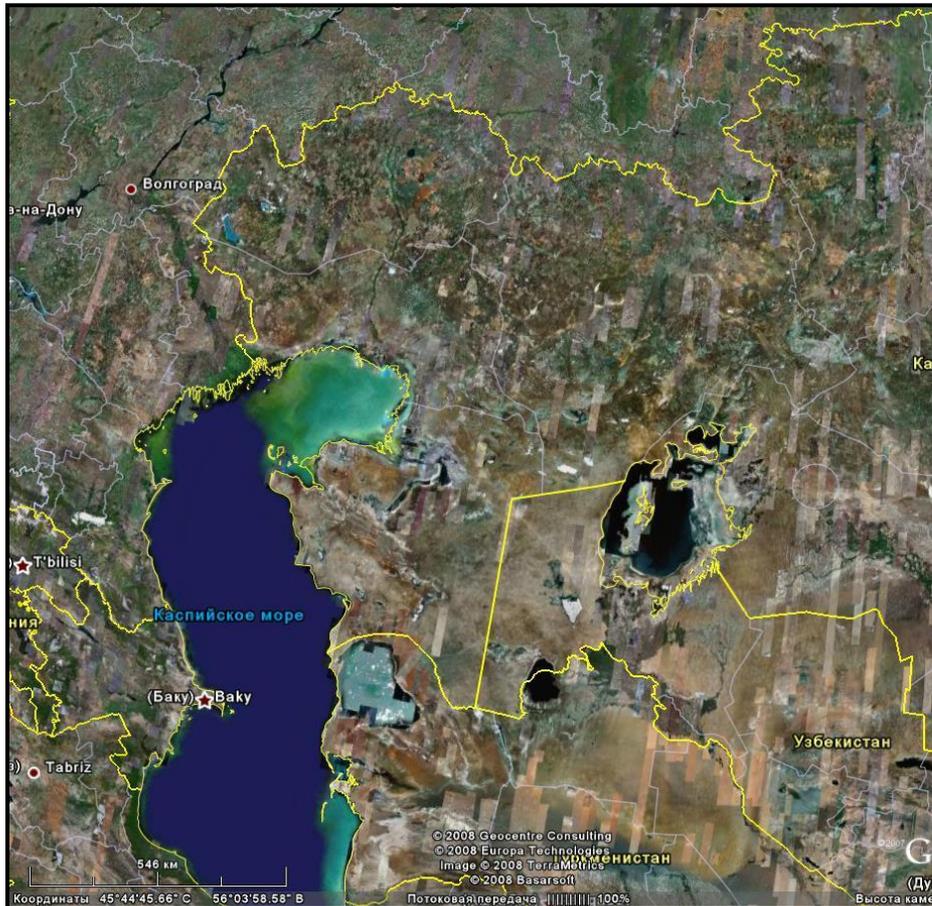
Накопленный опыт применения **линеаментного анализа** при геологических и геоэкологических исследованиях свидетельствует, что:

- Линеаменты, в частном случае могут считаться природными индикаторами глубинной тектонической делимости земной коры;
- Линеаментный анализ представляет собой один из самых экономичных, скоростных (экспрессных), информативных и экологически чистых методов современных геологических и геоэкологических исследований;
- Линеаментное поле представляет по существу достаточно объективную и достоверную структурно-информационную основу разноглубинного геологического, сейсмологического, сейсмотектонического, инженерно-геологического, металлогенического и, в конечном итоге, геодинамического районирования.

Линеаменты свидетельствуют об активизации процессов структурирования земной коры на новейшем и современном этапах ее развития.

Широко используются при поиске и выявлении структур, благоприятных для образования месторождений полезных ископаемых.

Примеры прикладного использования линеаментного анализа



Поиск и выявление структур, перспективных для образования месторождений бокситов в северной части Туранской плиты

Был проведен линеаментный анализ топографических основ 1: 5 000 000 и 1:2 500 000, в результате которого на севере Туранской плиты были четко выявлены линеаменты ортогональной (О-) и диагональной (Д-) систем.

Среди диагональных наиболее ярко выражены протяженные структурные линии северо-восточного простирания, ограничивающие линеаментную зону регионального ранга – Бузачи-Ишимскую. В результате пространственной корреляции с дополнительными геологическими данными было установлено, что 3 бокситорудных района приурочены именно к выделенной зоне, выделяемому внутри нее крупному клиновидному Мугоджаро-Кушмурунскому блоку.

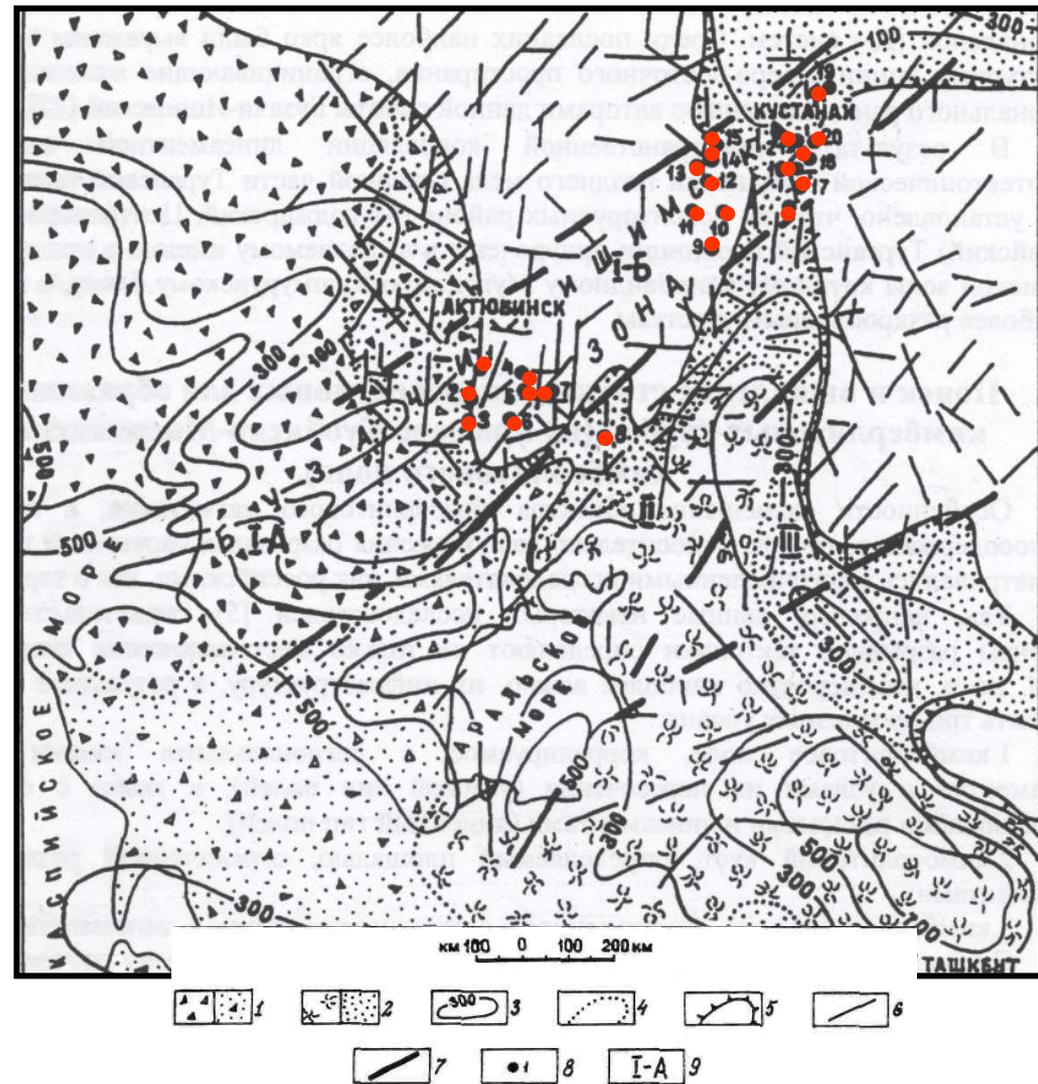


Схема пространственной корреляции линеаментной тектоники и палеотектонической обстановки позднего мела северной части Туранской плиты.

1 - карбонатные (слева), терригеннокарбонатные (справа), 2 - терригенные морские (слева), терригенные континентальные бокситоносные (справа); 3 - изопахиты верхнемеловых отложений; 6 - линеаменты; 7 - линеаментные ограничения крупных тектонических блоков; 8 - месторождение меловых бокситов, его номер; 9 - тектонический блок, его номер;



Поиск и выявление структур, перспективных для образования кимберлитовых трубок (на примере Куойкско-Молодинского кимберлитового поля).

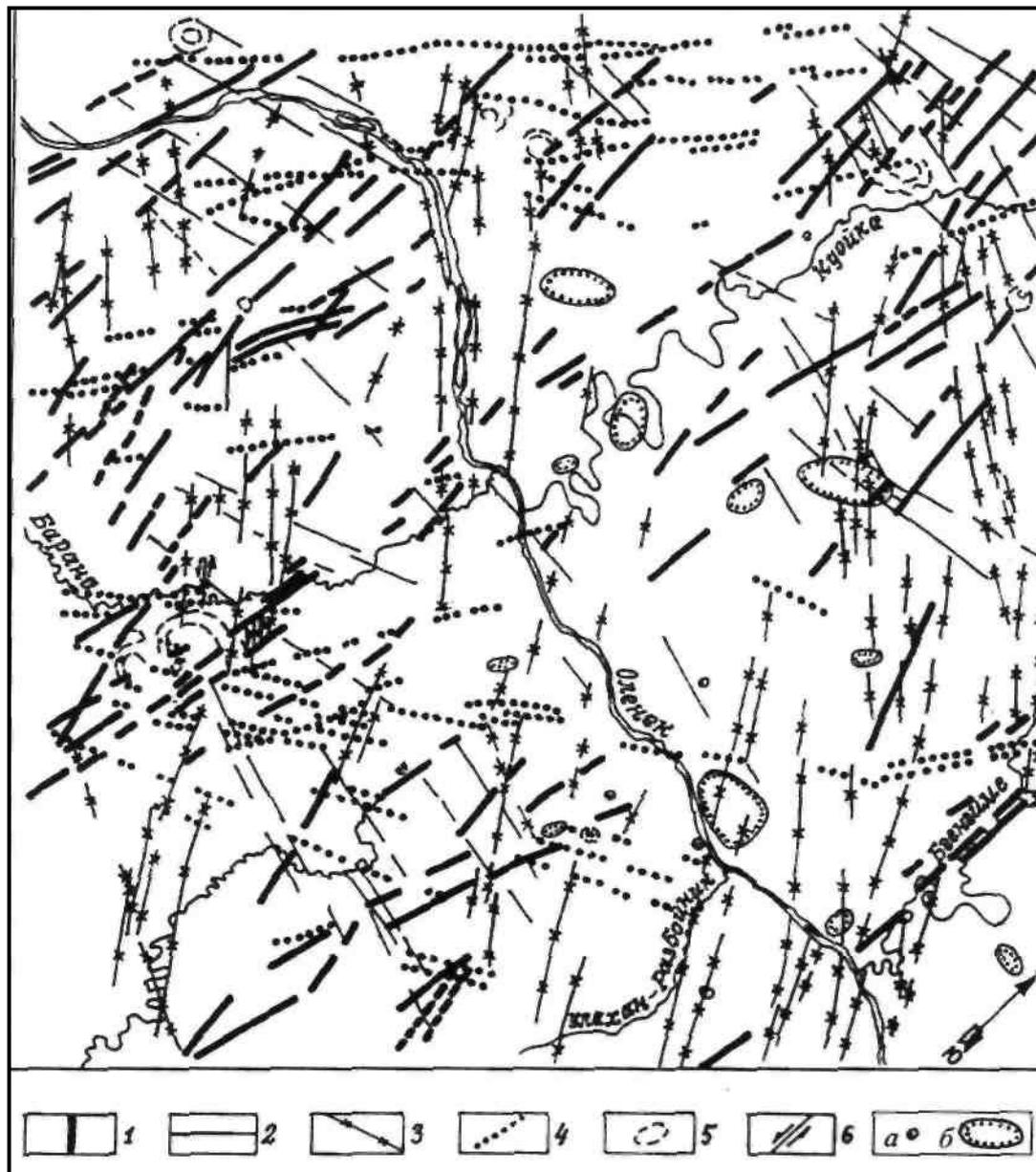
Выделяется три прогнозных уровня:

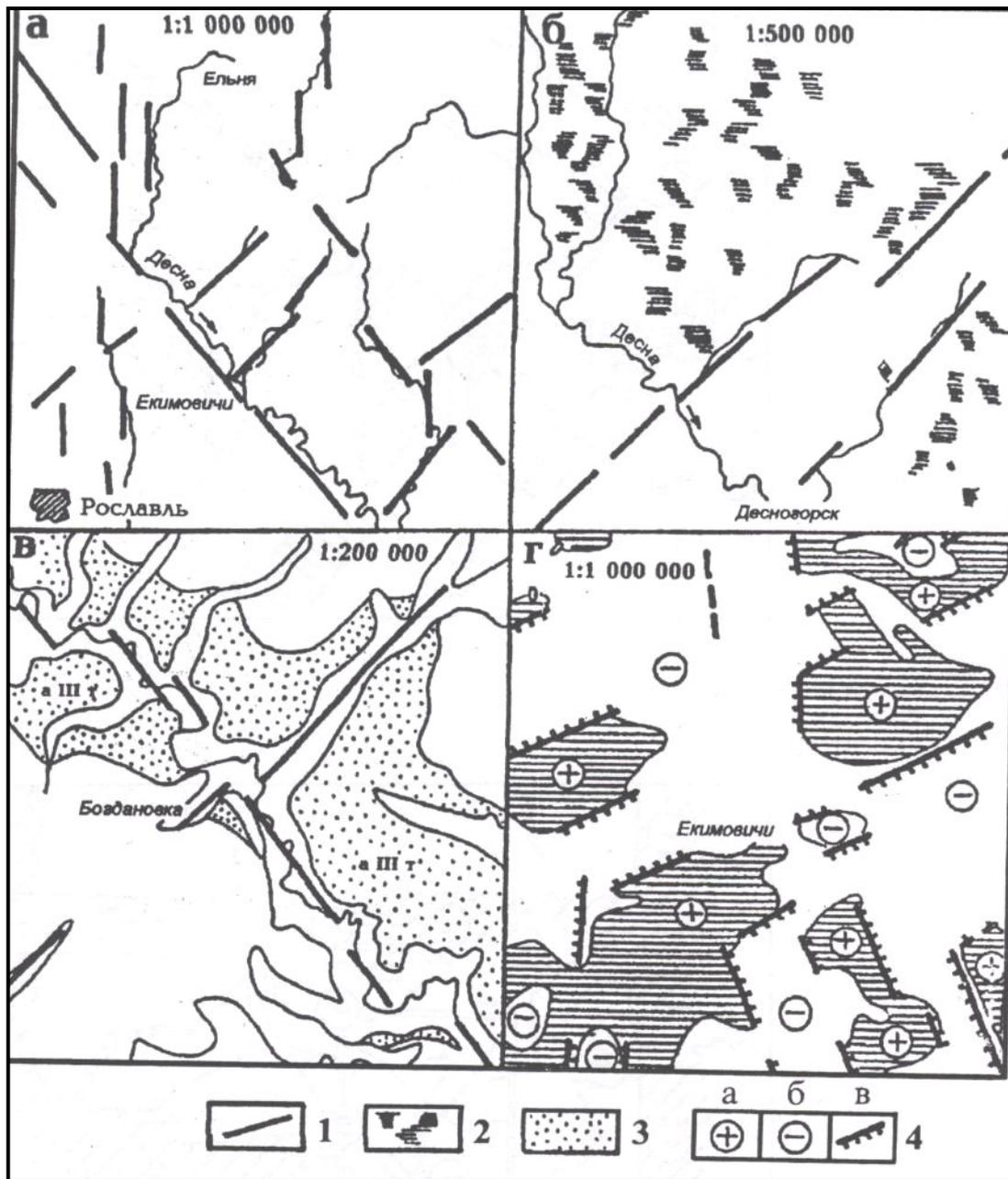
1. Кимберлитовое поле, коррелируемое с региональными зонами разломов, линеаментов и узлами их пересечения (узловой тип полей), а также с единичными региональными разломами и линеаменами (линейный тип полей);
2. Кимберлитовый куст, определяемый площадью, ограниченной разломами или линеаменами;
3. Кимберлитовое тело, приуроченное к одиночным разрывам и линеаменам.

Линеаментные системы и кимберлитовые проявления в Куойско-Молодинском Кимберлитовом поле.

1-4 -

линеаменты 5 - кольцевые (овальные, округлые) структуры; 6 - элементы сдвигового смещения, дешифруемые вдоль некоторых линеаментов; 7 - кимберлитовые проявления: одиночные тела (а), кусты тел (б).





Элементарные модели индикации разрывно-линеamentных структур по элементам физико-географической среды:

А - гидросети;

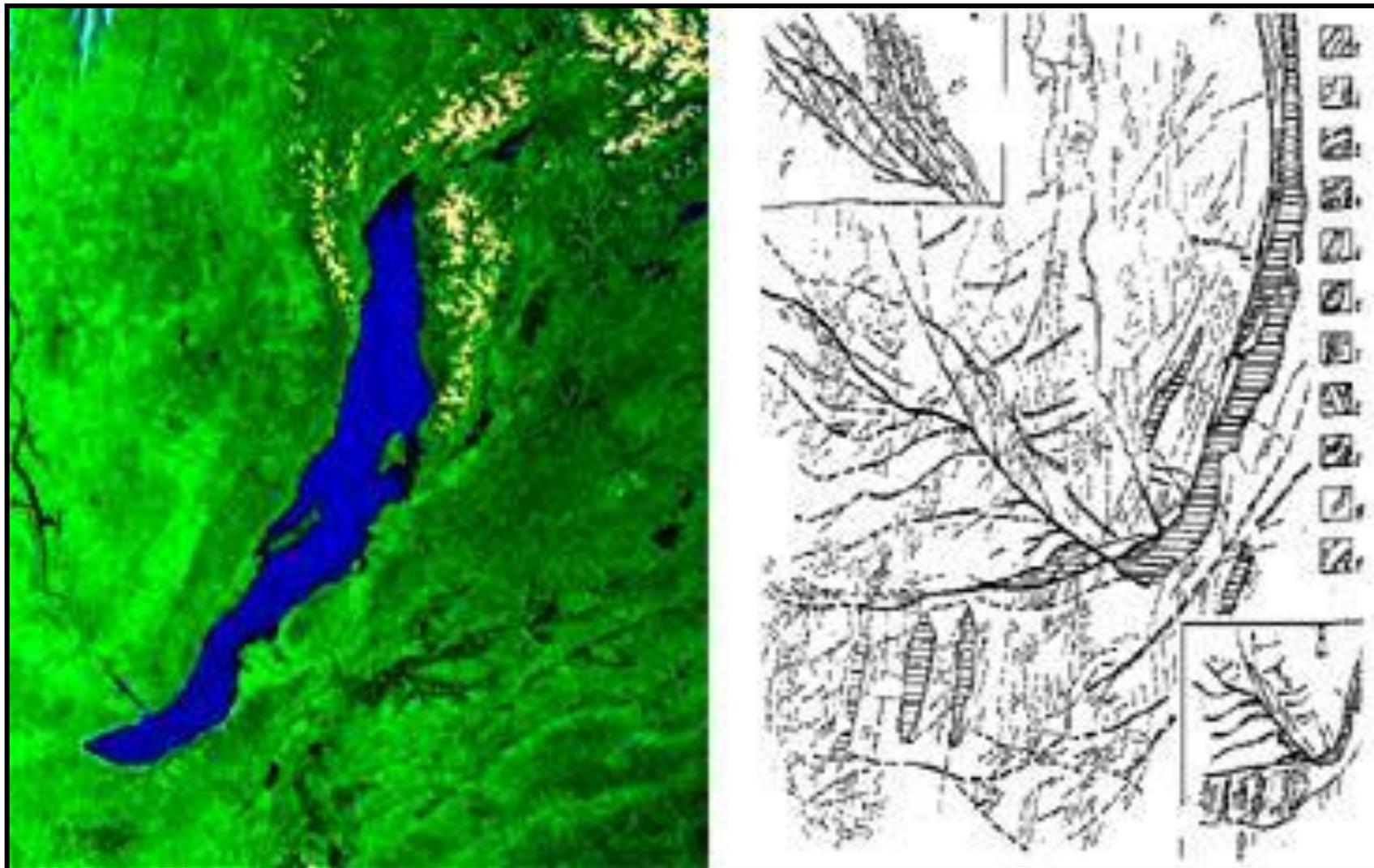
Б - заболоченности;

В – геологической структуры;

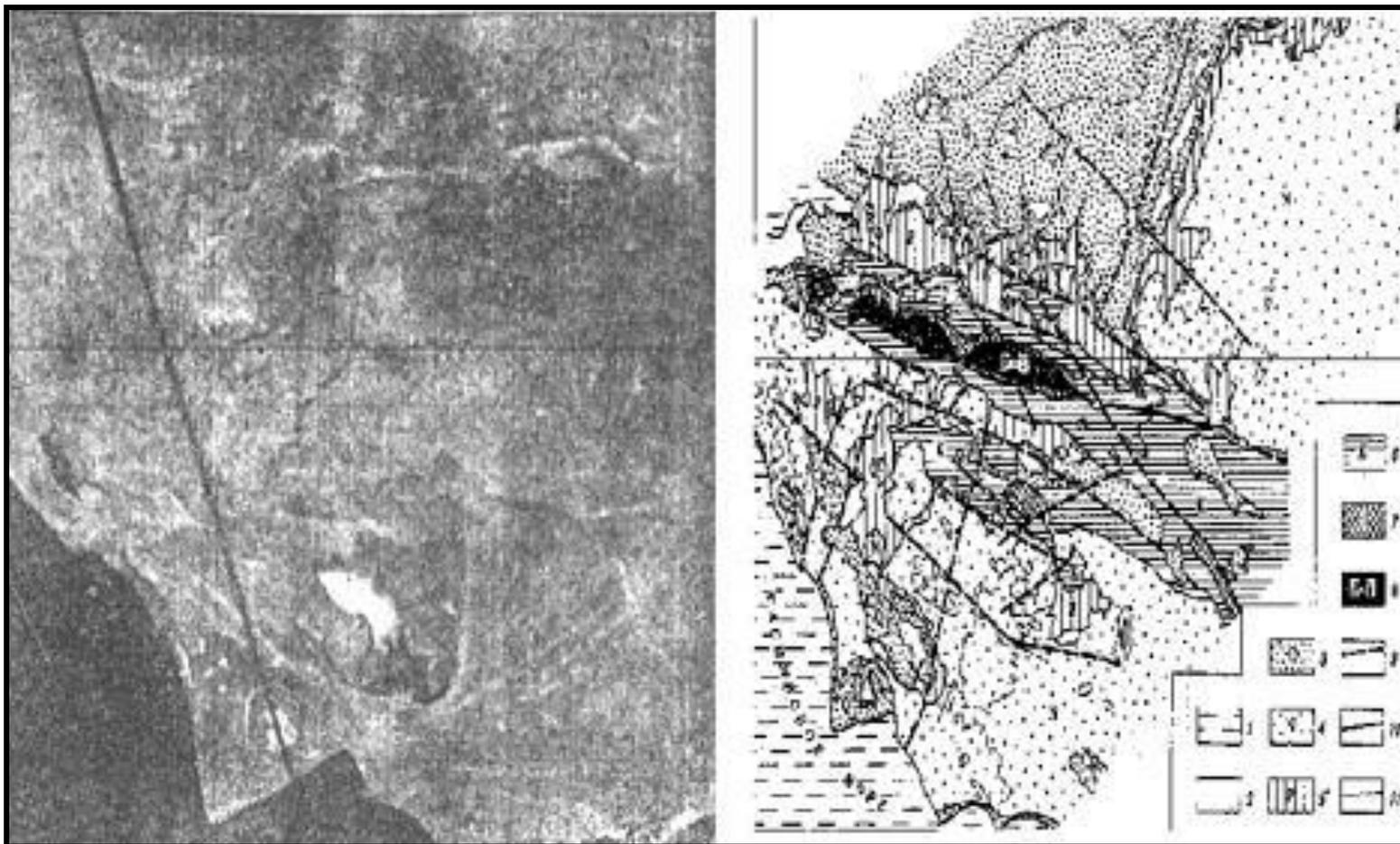
Г - геофизических полей.

1 – линеаменты, 2 – заболоченные участки, 3 – поверхность III-ей надпойменной террасы, 4 - магнитное поле: а – положительное, б – отрицательное, в – ступени – линеаменты.

Космоснимок со спутника Ресурс-О района оз. Байкал с разрешением 125 м. и расшифровка в отношении разломов и ориентированных структур.



Фотоснимок с корабля Союз-8 Южного Мангышлака и геологическая карта, построенная на основании его дешифрирования.



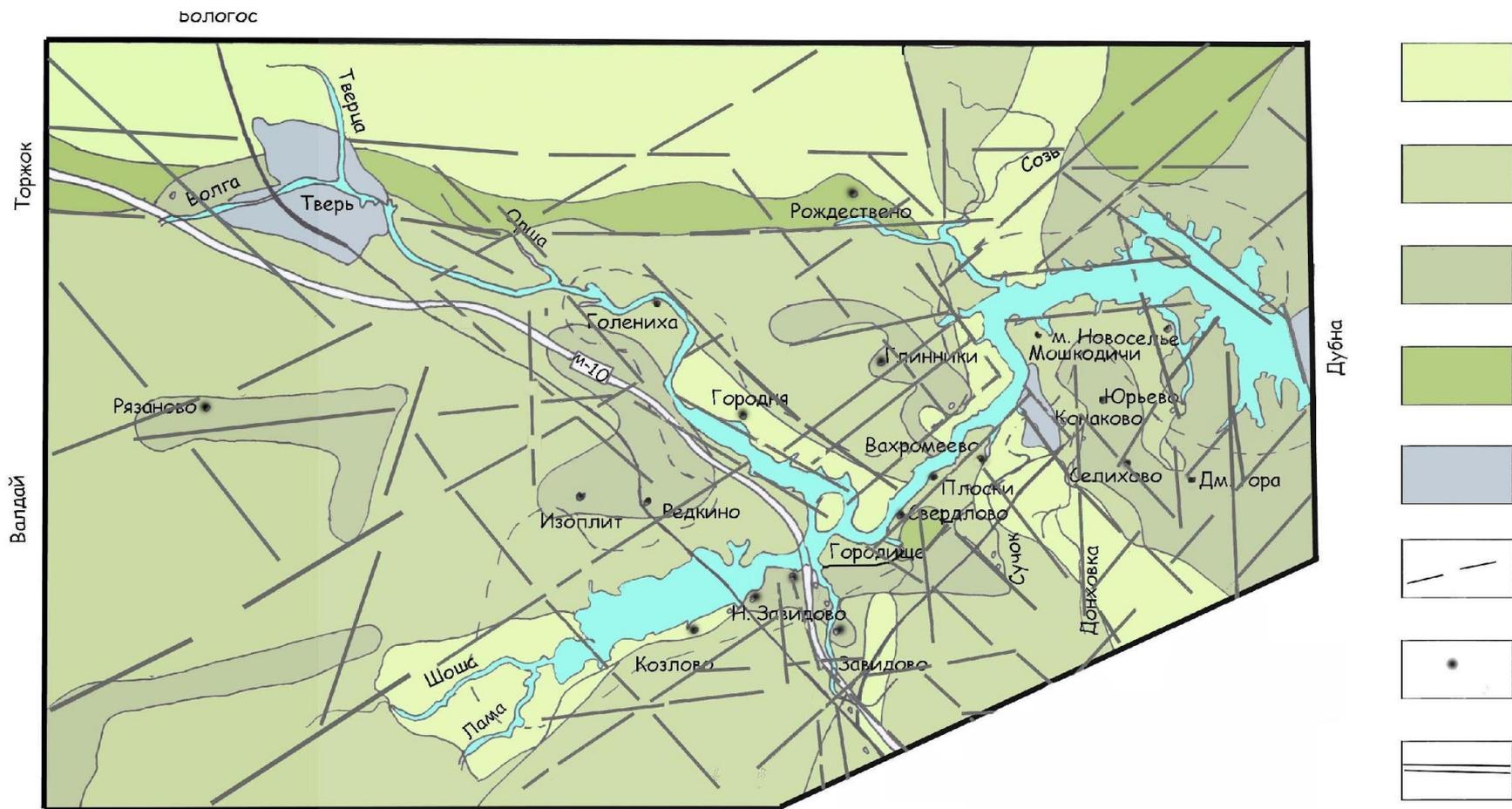
Обнаруживаемые связи линеаментов с сейсмичностью и ее проявлением имеет большое научное и практическое значение.

Экологическое значение линеаментов



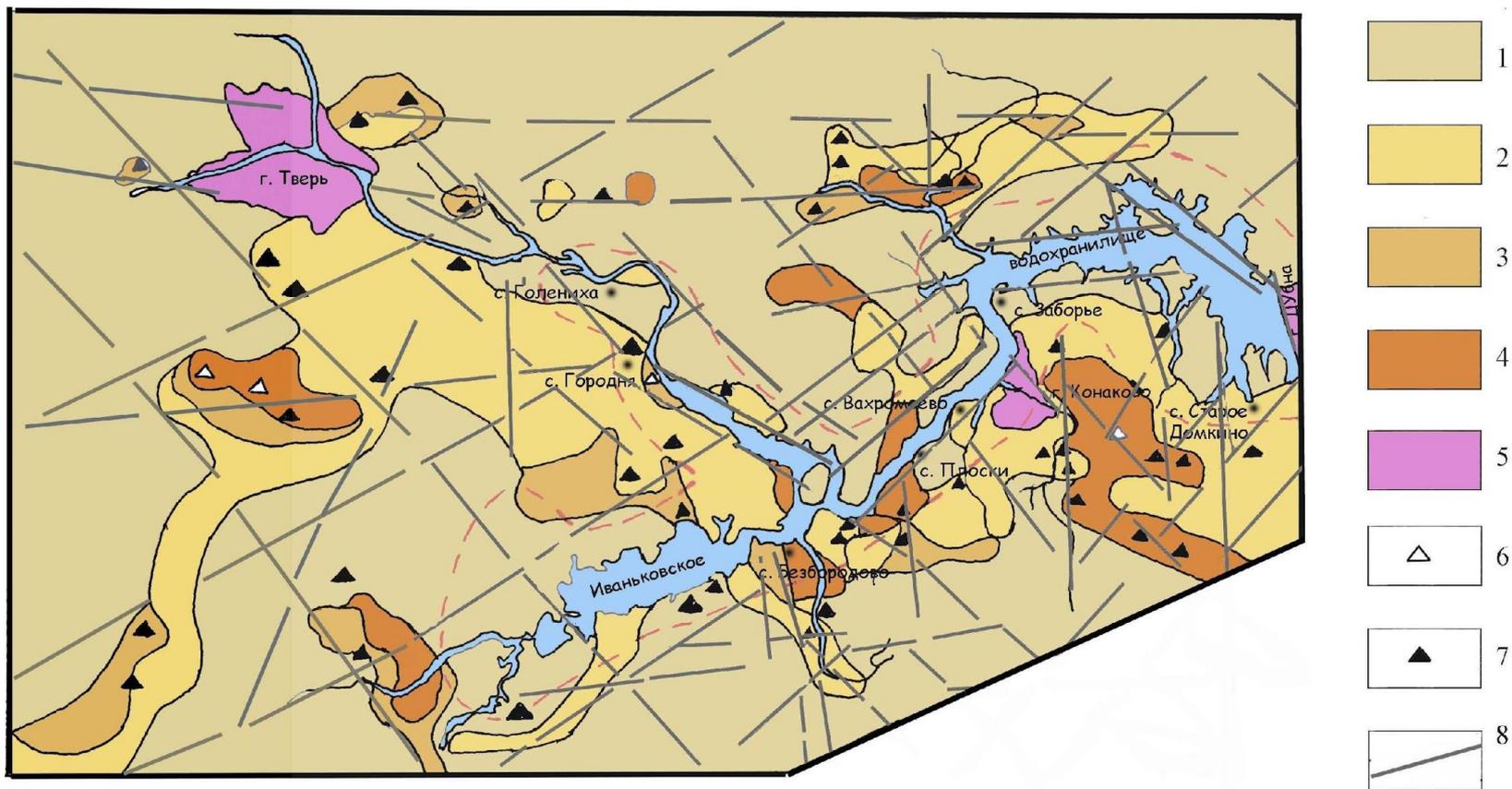
Схема линеаментов и зон повышенного геоэкологического риска в районе Иваньковского водохранилища

Условные обозначения: 1 – линеаменты; 2 – скотомогильники; 3 – птицефабрики и животноводческие фермы; 4 – свалки и полигоны ТБО; 5 – зоны повышенного геоэкологического риска;



Карта-схема содержания в ГВ водосбора Ивановского водохранилища сульфат-иона (2003 г) (по Шритер, 2003) и линеаменты.

Содержание SO₄ (мг/л): 1 - 0-50, 2 - 50-100, 3 - 100-200, 4 - более 200, 5 - территории городов, 6 - граница водоохранной зоны, 7 - населенные пункты, 8 - автомобильные дороги, 9 - линеаменты



Карта-схема содержания в ГВ Иваньковского водохранилища нитратного азота (по данным Шритер 2003 г.) и линеаментов. М 1:400000

Условные обозначения: NO, мг/л: 1 - менее 1,0; 2 - 1-5; 3 - 5-10; 4 - более 10; 5 - территории городов, 6 - птицефабрики, 7- животноводческие фермы, 8 - линеаменты