



Геологический факультет

Кафедра динамической геологии

Лаборатория геологических исследований

космическими методами

А.И. Полетаев

**КУРС: ОСОБЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ (ОСФ)
ЗЕМЛИ**

Тема:

ЛИНЕАМЕНТЫ (линейные структуры земной коры).

Часть первая.

*«Нечто такое, что видится само собой,
но что трудно анализировать и рассказать,
невозможно оправдать достаточными причинами,
но что, однако же, производит,
несмотря на всю эту трудность и невозможность,
совершенно цельное и неотразимое впечатление,
невольно переходящее в полнейшее убеждение...».*

Фёдор Михайлович

ДОСТОЕВСКИЙ (1821 – 1881)

Полное собрание сочинений в 30 томах.

Л.: Наука, 1973. Т. V111.

Идиот (1869), ч.11, с. 193 – 194

Среди великих *«предзрений»*, т.е. предвидений основоположника отечественной геологии М.В. Ломоносова (1711 – 1765) есть удивительное предсказание о поиске неких скрытых геологических объектов, сделанное им в своей знаменитой работе *«О слоях земных. 1757 – 1759»*:

*«Велико есть дело достигать во глубину земную разумом,
куда рукам и оку досягнуть возбраняет натура;
странствовать размышлениями в преисподней,
проникать рассуждениями сквозь тесные расселины,
и вечною ночью помраченные вещи и деяния
выводить на солнечную ясность»*

[Ломоносов, 1949, с. 17].

За два последних столетия, т. е. после введения научный обиход в 1802 году известным плутонистом Дж. Плейфером (1748 – 1819) понятия о *разрывах* земной коры,
а также после введения в геологический словарь в 1904 году У. Хоббсом (1864 – 1953) понятия о *линеаментах*,
накоплен огромный фактический материал,
свидетельствующий о том, что **Земля пронизана густой сетью линейных нарушений и деформаций** разного возраста заложения, разного масштаба проявления (протяжённости),
разной глубины и разных простираний,
часто развитых в скрытой (*латентной*) форме.

Основы изучения линейных нарушений земной коры, развитых в скрытой (латентной) форме, были заложены еще во второй половине XIX века в работах М.Бертрана (для континентов Земли), Э.Зюсса (для Южной Италии), Т.Кьерулфа (для Норвегии), А.П.Карпинского (для северо-запада Европейской части России), Н.И.Андрусова (для Понто-Каспийской области), Г.В.Абиха (для Каспийского региона) и других геологов, а сформулированы американским исследователем У.Хоббсом (1864 – 1953) [Hobbs , 1904], который ввёл в геологический словарь термин «*линеамент*» (от лат. «*lineamentum*» – «*прямая линия*»).

Открытию У.Г. Хоббса предшествовала длительная предыстория,

краткая хронология событий которой даётся ниже:.

Древний Египет – Древняя Греция

– IV в. до н.э. – Зарождение представлений о фундаментальных понятиях **точка, линия, плоскость, объём** – *Платон* (428 или 427 – 348 или 347 до н. э.).

– Многочисленные Александрии,
основанные Александром Македонским (356 – 323 гг. до н.э.)
во время его персидского похода,
строились исключительно *по ортогональным направлениям,*
протягивающимся с севера на юг и с запада на восток.

– III в. до н. э. – появление «*Евклидовой геометрии*».

Древний Рим

***Ортогональным направлениям,* протягивающимся с севера на юг и с запада на восток, даны специальные названия – «*maximus cardium*» и «*maximus decumanum*». Эти данные, почти через 2000 лет, «помогли» археологам при раскопках Помпей, засыпанных пеплом вулкана Везувия при его извержении 79г. (рис.1).**

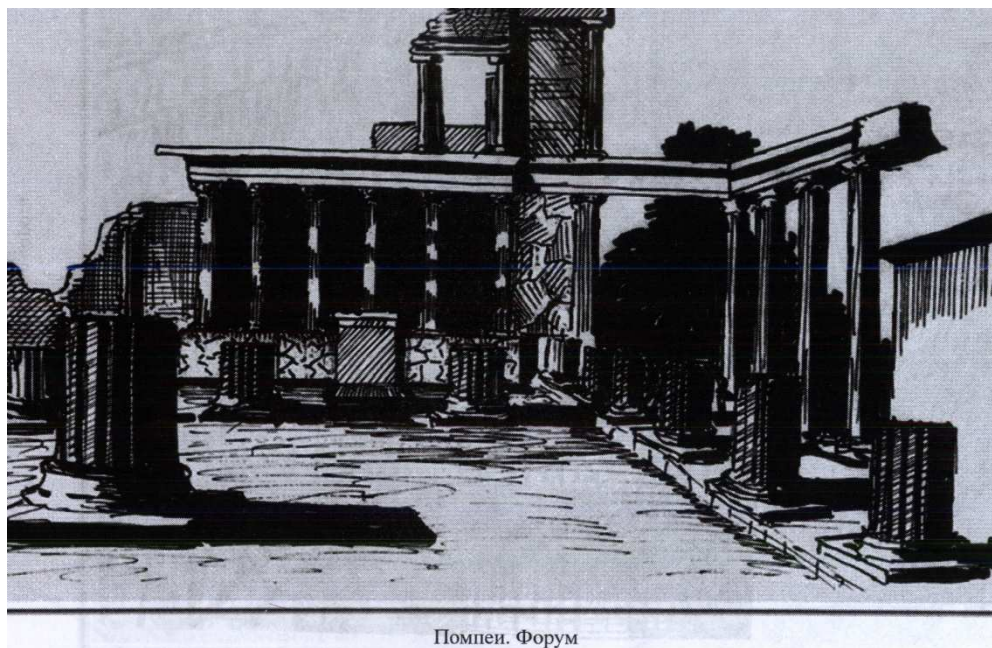


Рис. 1. Помпеи. Форум. Рисунок Н.В. Короновского

[Короновский, 2011, с. 87].

Новое время

XV век

Весь Мир поделён папскими буллами по **ортогональным** направлениям [Максаковский, 1997].

Позже по ортогональному плану будут построены и некоторые современные города, например, Стокгольм, Нью - Йорк и другие.

XVII век

*Нильс Стенсен (Николас Стено) (1638 – 1686) описал геологическую историю территории Тосканского герцогства (Италия), выделив **этапы обрушения**, т.е. деформации, слоёв осадочных горных пород («Предварительное изложение диссертации о твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом», 1669).*

XIX век

1802 год – плутонист *Дж. Плейфер* (1749 – 1819)

ввёл в научный обиход понятие о разрывах земной коры

(*Plafair J. Illustrations of the Huttonian theory*).

1835, 1845 – *У.Хопкинс* – «был поражён прямолинейностью многих структур, а именно трещин, минеральных жил, разломов, флексур, и таких форм рельефа, как горные хребты и долины» [из: *Каттерфельд Г.Н. Планетарная трещиноватость и линеаменты Земли, Венеры, Марса, Меркурия и Луны, 2000, с.9*]:

– «обнаружил **прямолинейный характер расположения водных источников**, что по его мнению косвенно свидетельствует о существовании **линейных структурных простираний**, не определяемых прямыми геологическими наблюдениями» [оттуда же, с. 9];

1839 – *Джон Филипс* указал на «существование общих закономерностей в расположении систем трещин и разломов в пределах крупных районов земной поверхности» [из: *Каттерфельд, 2000, с. 16*];

1852 – *Леонс Эли де-Бомон* (1798 – 1874) обратил внимание на то, что горные хребты ориентируются в некоторых определённых направлениях, и связал это явление с процессом сжатия земного шара [*Elie le Beumont L. Notice sur la systemes le montagnes, v. 1 – 3, Paris*].

1872– французский геолог-экспериментатор **Гюстав-Огюст ДОБРЭ** (1814 – 1896) показал, что трещины, полученные в результате сдавливания образцов горных пород, возникали диагонально по отношению друг к другу, и на равных расстояниях друг от друга (**рис. 2**):

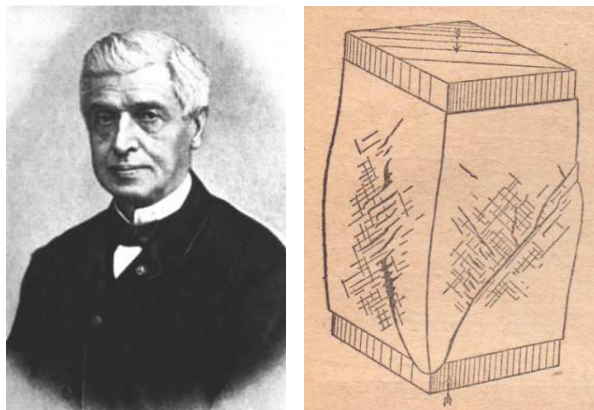
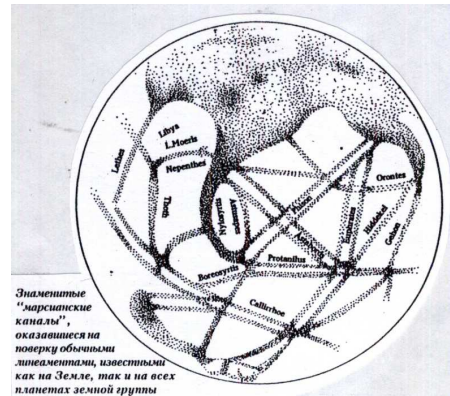


Рис.2. Искусственные трещины

1875 – *Эдуард Зюсс* (1831 – 1914) – впервые выделил и описал грабены (от нем. *Graben* – **ров**).

1877 – итальянский астроном *Джованни СКИАПАРЕЛЛИ* (1835 – 1910) открыл на Марсе линейные структуры названные «каналами».



Знаменитые "марсианские каналы", оказавшиеся на поверку обычными линейными, известными как на Земле, так и на всех планетах земной группы

Джованни СКИАПАРЕЛЛИ *Рис.3. Линейные*
(1835 –1910) *структуры, которые Дж. Скиапарелли*
обнаружил на Марсе

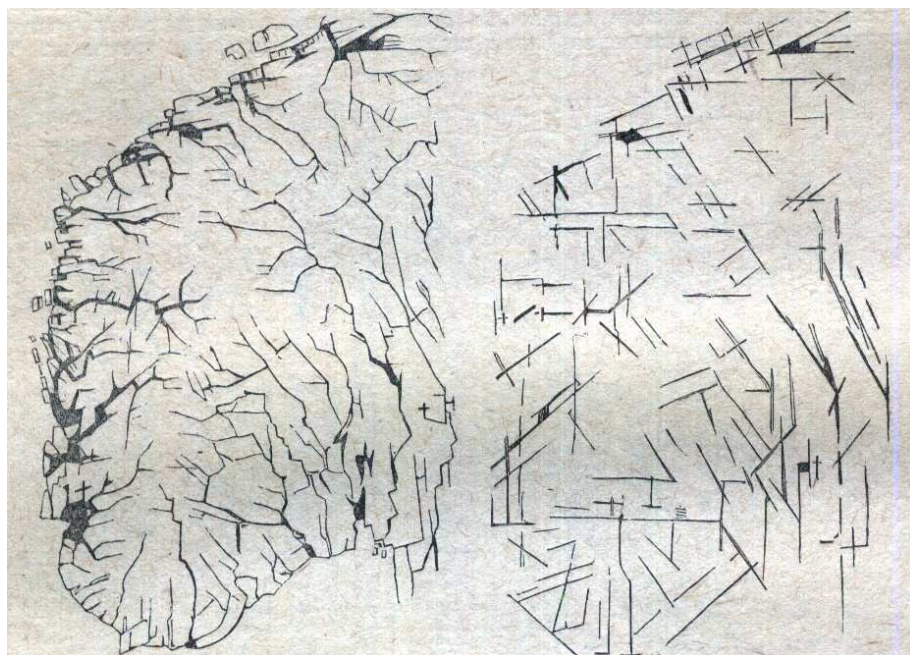
1879 – *А. Добрэ* (во Франции) «подметил влияние трещин и разломов на образование и развитие прямолинейных элементов в эрозионной сети» [из: *Каттерфельд, 2000, с.12*] и ввёл понятие об эквидистантности – равноудалённости друг от друга линейных структур одного и того же простирания.

1880-е годы – *Т. Кьерулф* (1825 – 1888) для Норвегии,

А.П. Карпинский (1847 – 1936) для Севера Русской платформы,
Н.И. Андрусов (1861 – 1924) для Понто-Каспийской области

составили и опубликовали

схемы основных линейных структур.



*Рис. 4. Слева – эрозионная сеть Норвегии,
справа – система трещин Норвегии.*

[По: Черульф, 1880; из кн.: И.В. Мушкетов, Д.И. Мушкетов – Физическая геология. – Ленинград, Москва, ОНТИ. НКТП СССР, 1935, с. 234].

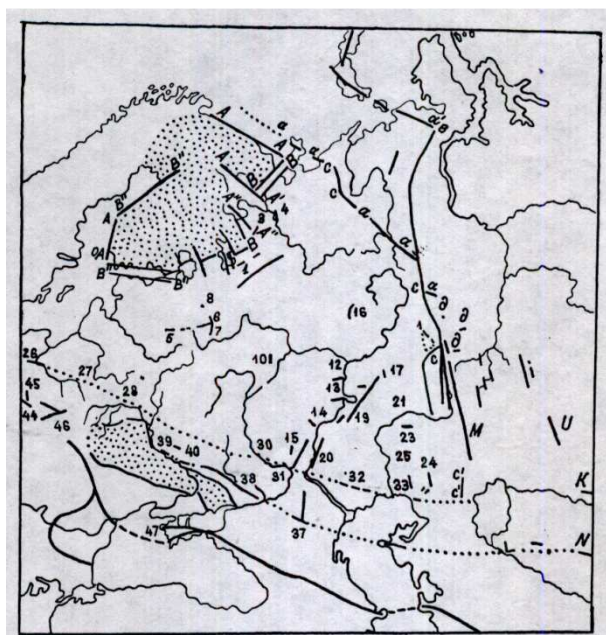


Рис. 5. Линейные структуры Русской платформы

[по А.П. Карпинскому].

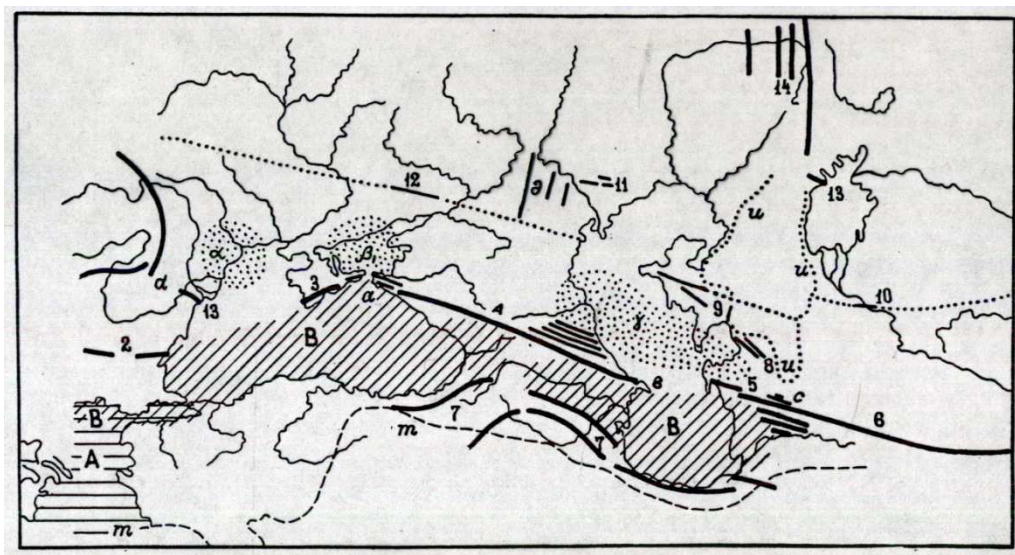


Рис.6. Линейные структуры Понто-Каспийской области

[по Н.И. Андрусову].

– **Э. Зюсс** (1831 – 1914) – выдающийся геолог рубежа XIX и XX веков – выделил на территории Калабрии и Сицилии **линии обычных ударов землетрясений** (рис. 7):

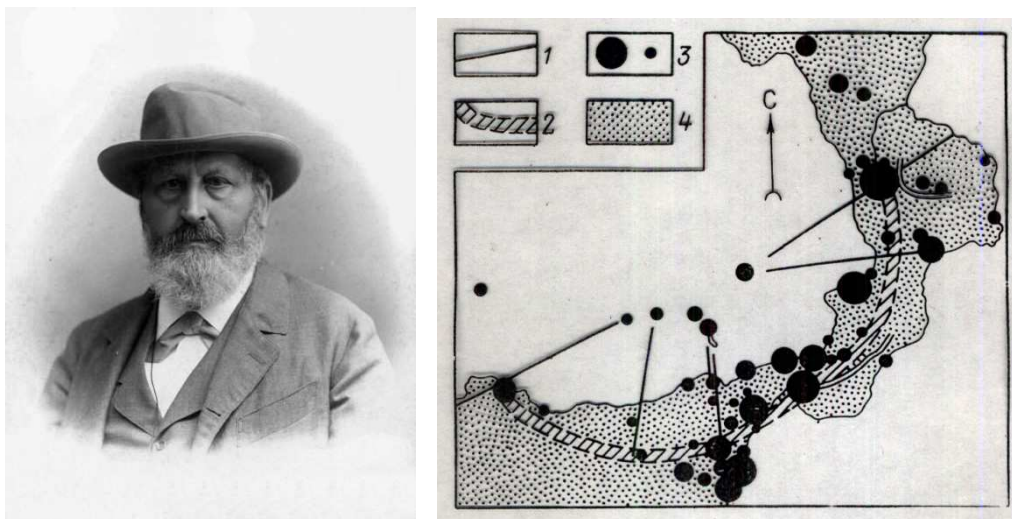


Рис.7. Эпицентры и «линии ударов обычных землетрясений»

Калабрии и Сицилии [по: Э. Зюсс, конец XIX века].

1 – линеаменты; 2 – периферическая зона;

3 – эпицентры землетрясений; 4 – вулканические породы

1892 – *Марсель Бертран* (1847 – 1907) изложил представления о линейных структурах, пересекающих континенты, и вдоль которых группируются складчатые или разрывные дислокации и крупные формы рельефа – горные хребты, речные долины, берега морей и т.д. [*Bertrand M. Sur la deformation de l'ecorce terrestre.* – C. R. Acad. sci., t. CXIV].

1896 – английский геолог *Д. Грегори* (1864 – 1832)

предложил термин **рифт** (от англ. *rift* – трещина, щель, расщелина): для сбросов, возникающих под действием сил гравитации.

XX век

1904 год – *Уильям Герберт Хоббс* (1864 – 1953) ввёл в геологический словарь понятие о линеаментах [*Hobbs W. Lineaments of the Atlantic border region // Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 15, p. 483 – 506*], а в 1911 году предложил графический алгоритм выделения линеаментов по спрямленным отрезкам эрозионной сети (**рис.8 – 10**):

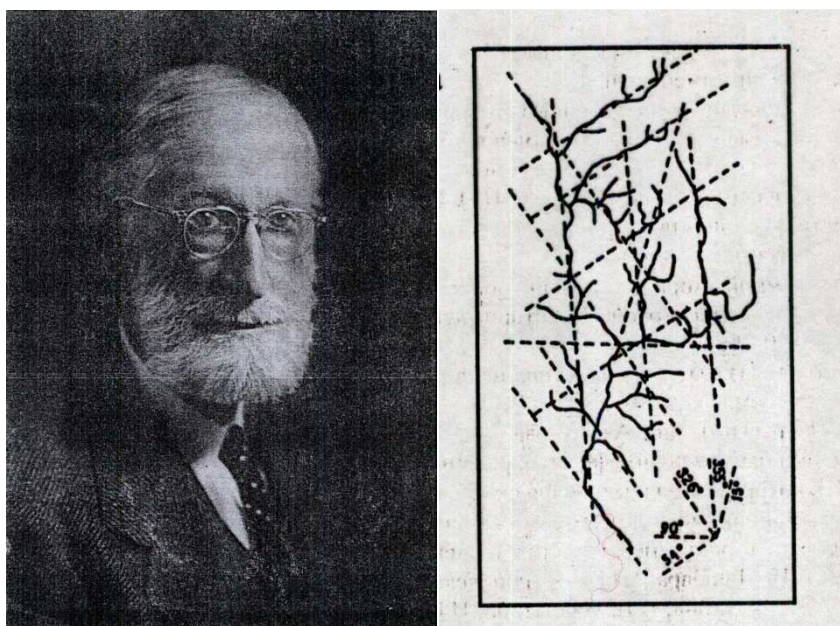


Рис. 8. Линеаментный алгоритм Хоббса [1911].

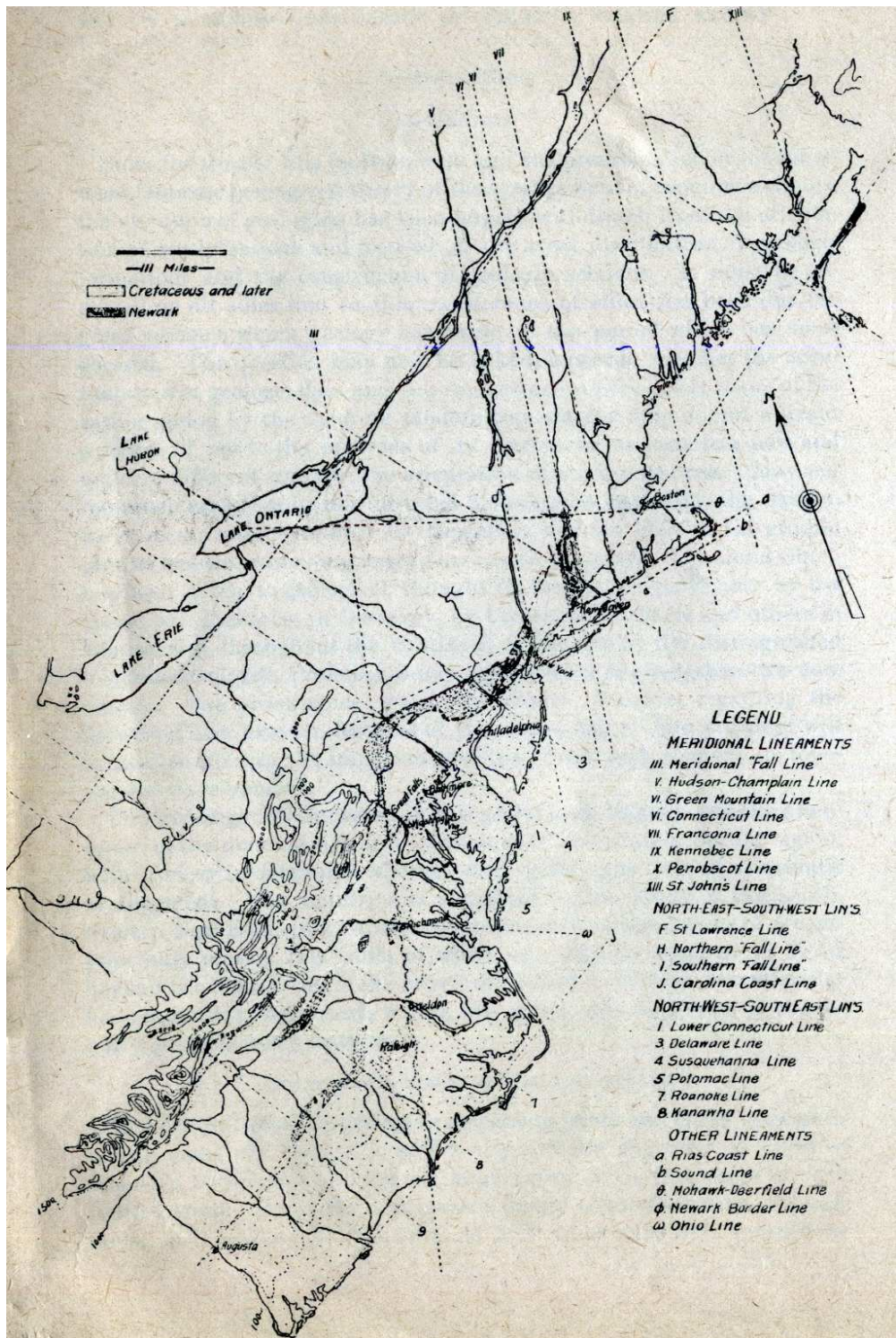


Рис. 9. Линейные структуры СВ Америки.

[Хоббс, 1903].

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA
VOL. 15, PP. 483-506, PLS. 45-47 NOVEMBER 15, 1904

LINEAMENTS OF THE ATLANTIC BORDER REGION
BY WILLIAM HERBERT HOBBS
(Read before the Society December 31, 1903)

CONTENTS

	Page
Introduction.....	484
Historical.....	484
Characteristics of joints and faults.....	484
Conclusions from study of southwestern New England.....	485
Types of earth lineaments.....	485
Projection of lineaments on maps.....	486
Drainage system of Connecticut.....	487
Scope of investigation.....	487
Construction of map.....	487
The dominant lineaments.....	488
The meridional series.....	488
Connecticut line.....	488
Hudson-Champlain line.....	489
Franconia line.....	490
Kennebec, Penobscot, and Saint Johns lines.....	490
Meridional fall line.....	490
The Northeast southwest series.....	491
Northern fall line.....	491
Carolina coastline and Southern fall line.....	492
Saint Lawrence line.....	493
The Northwest-southeast series.....	494
Saint Croix line.....	494
Lower Connecticut line.....	495
Other lines of the series.....	496
Other lineaments.....	497
Orientation of the three principal series.....	497
Newark border line.....	497
Rias coast and sound lines.....	498
Mohawk-Deerfield line.....	499
Holyoke line.....	499
Ohio line.....	500
Characteristics of the network of lineaments.....	500
Evidence that systems of regional joints extend over wide areas.....	500
Relation of lineaments to the grander features of the earth.....	503

LXII—BULL. GEOL. SOC. AM., VOL. 15, 1903 (483)

Рис. 10. Первая страница классической работы У.Г. Хоббса [1904].

1911 – Д.И. Мушкетов (1882 – 1938)

использовал термин «*линеамент*»

**для обозначения сейсмотектонических дислокаций
в горах Средней Азии.**

1912 – известный отечественный тектонист Михаил Михайлович Тетяев (1882 – 1956) выделил **структурные линии Восточной Европы**, т.е. территории **Восточно-Европейской платформы** (рис.11):

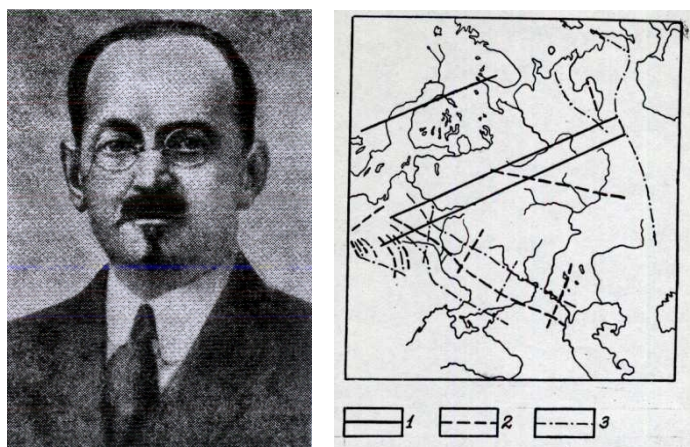


Рис.11. Схема палеозойских дислокаций Восточной Европы [по: Тетяев, 1912; из кн.: А.Д.Архангельский – Геологическое строение СССР, 1934, с. 263]

1 – каледонские антиклинали, **2** – варисцийские синклинали, **3** – варисцийские антиклинали

– **Ф.Освальд** показал линейные нарушения на геоморфологической карте Кавказа (**рис.12**):

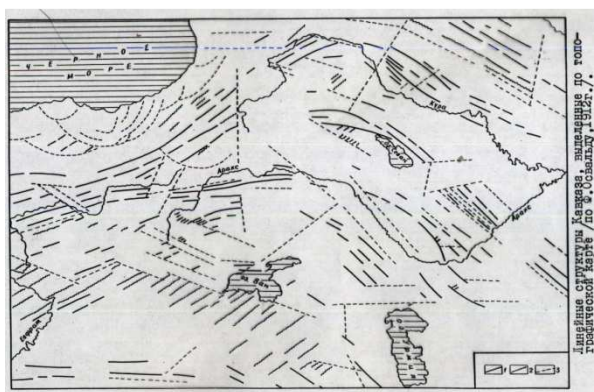


Рис. 12. Линейные структуры Кавказа,

выделенные по топографической карте [по: Освальд, 1912].

1930-е годы – известный немецкий тектонист **Ганс Штилле** (1876 – 1966) опубликовал схему «**Кардинальные линеаменты Европы**» (**рис. 13**):

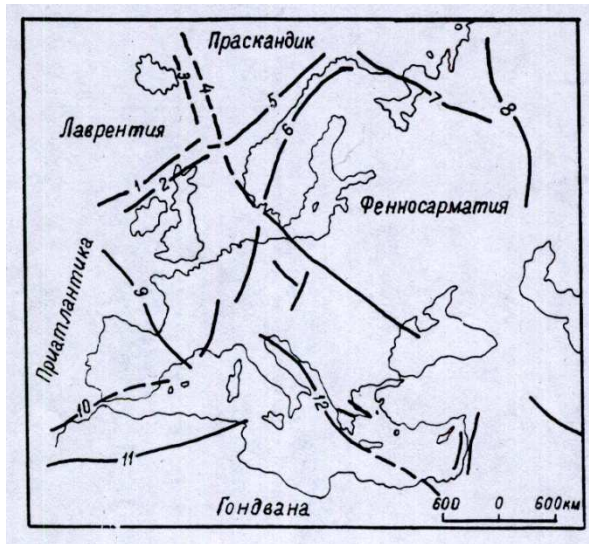


Рис. 13. Кардинальные линеаменты Европы

[по: Штилле, 1935?]

1938 – *Р. Зондер* ввёл понятие о **линеаментной тектонике** [Sonder R.A. Die Lineament tektonik und ihre Problem // Ed. Geol. Helv., vol.31, №1, p.199 – 238].

1945 – *А.В. Пейве* (1909 – 1985) ввёл понятие о **глубинных разломах** [*Пейве А.В.* Глубинные разломы в геосинклинальных областях // Изв. АН СССР, сер. геол., №5, 1945].

1947 – *Р. Зондер* ввёл понятие о **регматической сети трещин**.

1948 – *Н.С. Шатский* (1895 – 1960) опубликовал статью: **О глубинных дислокациях, охватывающих платформы и складчатые области**. Ст.4 // Изв. АН СССР, сер. геол., №5.

1949 – *Е.Н. Пермяков* опубликовал монографию: **Тектоническая трещиноватость Русской платформы**. – М.: Изд - во МОИП, 216 с.

1956 – Рихард Зондер опубликовал **схему линейных нарушений дна Атлантического океана (рис. 14)**:

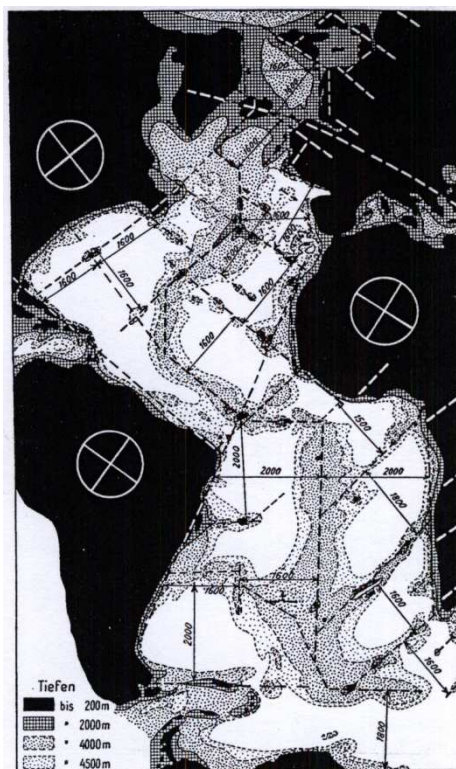


Рис. 14. Линеаменты Атлантики [по Р. Зондеру, 1956].

1960 – *Н.С. Шатский* (–) ввёл понятие об **авлакогенах** (от греч. «авлакос» – «борозда», т.е. «бороздой рождённые») – линейных грабен-прогибах протяженностью до сотен километров и шириной до десятков, иногда более сотни километров.

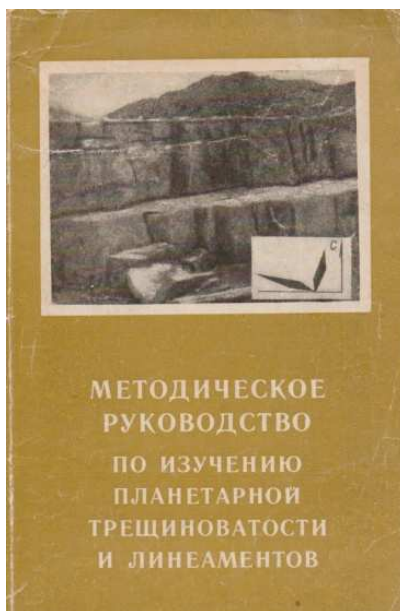
1963 – *В.Е. Хаин* (1914 – 2009) ввёл понятие о **мировой сетке разломов** // Изв. высш. учеб. заведений, сер. геол. и разведка, 1963, №3, с. 13 – 29].

1965 – *Джон Тузо Уилсон (Вилсон)* (1908 – 1993) ввёл понятие о **трансформных разломах** – особом кинематическом типе тектонических нарушений, возникающих в процессе раздвижения литосферных плит и представленных серией поперечных разломов, пересекающих СОХ и разделяющих их на отдельные сегменты со смещением по типу сдвига.

1973 – Издан сборник статей: **Планетарная трещиноватость** / Отв. ред. проф. С. С. Шульц. Изд - во Ленинградского ун - та., 176 с.

– Опубликовано **Карта разломов территории СССР** и сопредельных территорий. М-б 1:2 500 000. Гл. ред. А.В. Сидоренко.

1977 – Издано «**Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов**».



1978– **В.И. Макаров** (1937 – 2011) опубликовал *первую карту линеаментов территории СССР* [Макаров В. И. Предварительная карта линеаментов территории СССР. – Известия вузов. Геол. и разведка, №10, с. 30 – 34] (рис. 15).

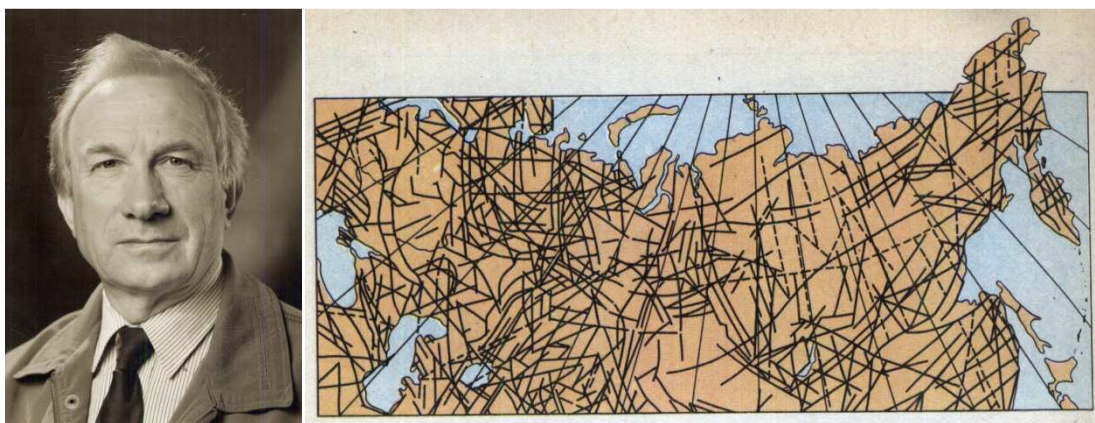


Рис. 15. Предварительная карта линеаментов территории СССР

1983 – **В. А. Буш** выделил Системы *трансконтинентальных линеаментов Евразии* [Геотектоника, №3, с. 15 – 31].

1984 – На 27-ой сессии Международного геологического конгресса в Москве представлена «**Геологическая карта СССР**»:



Представлена на 27-ой сессии
Международного геологического конгресса в Москве (1984 год)

1984 – Издана коллективная монография: **Планетарная трещиноватость** осадочного чехла литосферы (по материалам аэрокосмических съёмок). Авторы: В. П. Мирошниченко, Л. И. Берёзкина. Е. В. Леонтьева. Л.: «Недра», Ленинградское отделение, 216 с.

1985 – Издана коллективная монография: **Космическая информация в геологии** (М.: «Наука», 1985, 536с.), в которой обобщён огромный фактический материал по различным структурам –

линейным (линеаментам), дуговым, кольцевым узловым

и вращательным (ротационным),

которые были выделены в различных регионах Земли

с помощью дешифрирования
разномасштабных космических снимков.

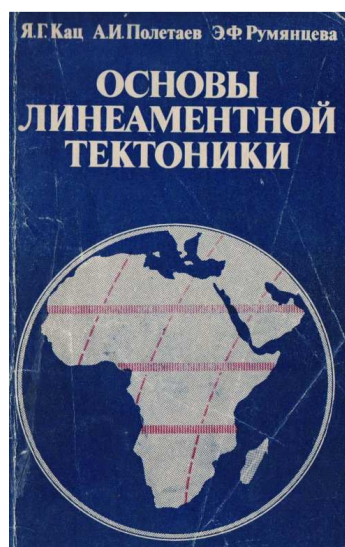


М.: Наука, 1985, 536с.

– В ПГО «Аэрогеология» разработан пакет программ **LESSA – Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis**, предназначенный для

«интерактивного автоматизированного выделения линеаментов и статистического анализа трещиноватости» [**Н.В. Короновский, А.А. Златопольский, Г.Н. Иванченко** – Автоматизированное дешифрирование космических снимков с целью структурного анализа // **Исслед. Земли из космоса**, 1986, №1, с.111 – 118].

1986 – Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева опубликовали книгу: **Основы линеаментной тектоники.**– М.: Недра, 134с.



– **М.А. Берлянт** – Заведующий кафедрой геодезии и картографии
Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова опубликовал
схему «**Основные диагональные линеаменты на севере европейской части
СССР, выделяемые по мелкомасштабной карте**



[Из: **А.М. Берлянт, 1986**].

2000 – **Г.Н. Каттерфельд** (1927 – 2013) издал книгу: «*Планетарная трещиноватость и линеаменты Земли, Венеры, Марса, Меркурия и Луны*». – С.-Петербург, 2000, 204с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

ЛИНЕАМЕНТЫ –

линии резкого (градиентного) изменения параметров:

- а) географической среды,
- б) геологической структуры,
- в) геофизических полей.

ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ (ЛАЗК)–

современный, эффективный и экологически чистый
*метод поиска, выявления и изучения скрытых тектонических
нарушений (СТН) земной коры, состоящий:*

а) *в визуальном* (ручном), *автоматизированном*, т.е. машинном или компьютерном и / или *интерактивном*, т.е. смешанном (человеко-машинном), *дешифрировании* – т.е.

поиске, выявлении и трассировании (картировании) скрытых линейных гетерогенных образований земной коры –

по разномасштабным физико-географическим и топографическим картам, космическим (КС) и аэрофотоснимкам (АФС),

а также по геофизическим, геохимическим, сейсмическим и прочим материалам – схемам, разрезам и т.д.

б) *в пространственной корреляции* выделенных линеаментов и их систем с имеющимися геологическими, геофизическими, сейсмическими и прочими материалами;

в) *в идентификации линеаментов* и их систем с разрывами, зонами трещиноватости, валами, флексурами и прочими линейными элементами геологического строения, установленными ранее в ходе наземных геологических или геофизических работ;

г) *в выделении автономных линеаментов* и их систем, требующих дальнейшего изучения с целью установления их генезиса;

д) *в составлении разномасштабных схем линеаментной тектоники* изучаемого региона и полевой (наземной и аэровизуальной) проверке ключевых элементов данных схем;

е) *в геодинамической интерпретации результатов линеаментного анализа и*

построении результирующих схем:

– линеаментно-блоковой тектоники,

– линеаментной делимости,

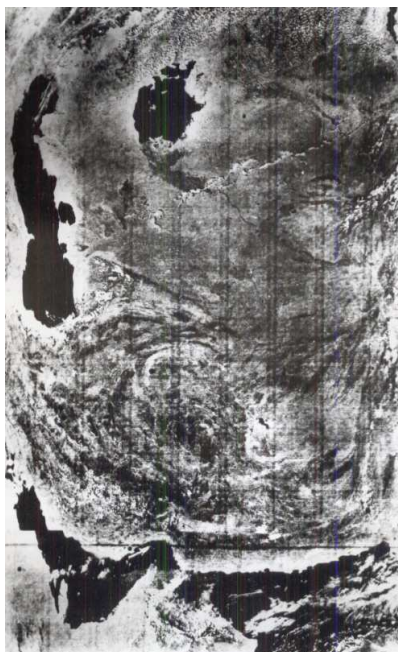
– линеаментной геодинамики и прочих,

являющихся базовыми для уточнения и детализации закономерностей развития *эндогенных*, например,

сейсмических, вулканических;
экзогенных, например, оползневых, карстовых, процессов
и явлений,
а также размещения месторождений гетерогенных
полезных ископаемых.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЛИНЕАМЕНТОГЕНЕЗА

ЛИНЕАМЕНТЫ – линии (границы) резкого (градиентного)
изменения параметров географической среды, геологической структуры
и геофизических полей.



Пример выраженности линеаментов

Туркмено-Иранского региона:

а) по различиям фототона и фоторисунка;

б) по прямолинейности облачного покрова

ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ – узкие протяженные концентрации
отдельных линеаментов.

ЛИНЕАМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ – совокупность субпараллельных
линеаментов и / или линеаментных зон.

ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ПОЛЯ – совокупности различных линеаментных систем .

ЛИНЕАМЕНТНЫЕ РИСУНКИ – разнообразные сочетания – Т - , У - , V - , X – образные (и прочие) отдельных линеаментов и их зон.

ЛИНЕАМЕНТНАЯ ДЕЛИМОСТЬ – процесс деформационного преобразования тектоносферы Земли, приводящий к зарождению и развитию на различных ее уровнях разномасштабных латеральных неоднородностей пластичной и хрупкой природы.

ЛИНЕАМЕНТНАЯ ТЕКТОНИКА – раздел геологии, изучающий генезис, строение и эволюцию линейных структур земной коры.

ЛИНЕАМЕНТНАЯ ГЕОДИНАМИКА* – раздел геологии, изучающий всю совокупность линейных структур, процессов и преобразований, определяющих особенности структурирования Земли на всех ее глубинных уровнях.

ЛИНЕАМЕНТОЛОГИЯ – активно развивающаяся отрасль современного землеведения и планетологии, в рамках которой всесторонне изучаются разномасштабные линейные образования Земли и планет земной группы с целью исследования их роли и значения в зарождении и развитии жидкой, твердой и газообразной оболочек планет.

*Термин «*г е о д и н а м и к а*» берет начало в «динамике» (от греч. *dinamos* – сила) – обоснованном Лейбницем и Ньютоном разделе механики, изучающем движение тел под воздействием приложенных к ним сил.

Примерно **такое же толкование**, но применительно к Земле, дал этому термину **Дж.Дарвин**, предложивший в 1887 году термин «*геодинамика*» в отношении «...к напряжениям, возникающим во внутренних частях планеты».

В более общем виде под «*геодинамикой*» понимают комплексную науку, «...изучающую всю совокупность глубинных, эндогенных процессов, изменяющих литосферу и определяющих эволюцию ее структуры» [Хаин, Рябухин,1997,с.157].

КУРС: ОСОБЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ (ОСФ) ЗЕМЛИ

Тема:

ЛИНЕАМЕНТЫ (линейные структуры земной коры).

Часть вторая.

Следует специально отметить, что в конце XX века изучение линеаментов испытало два существенных качественных «скачка».

Первый связан с внедрением в геологические исследования разномасштабных космических снимков (КС) (*рис. 16*),

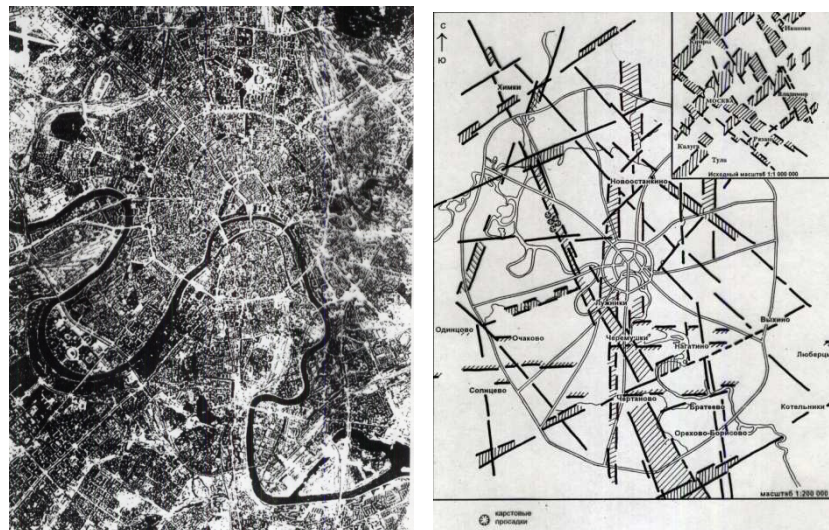
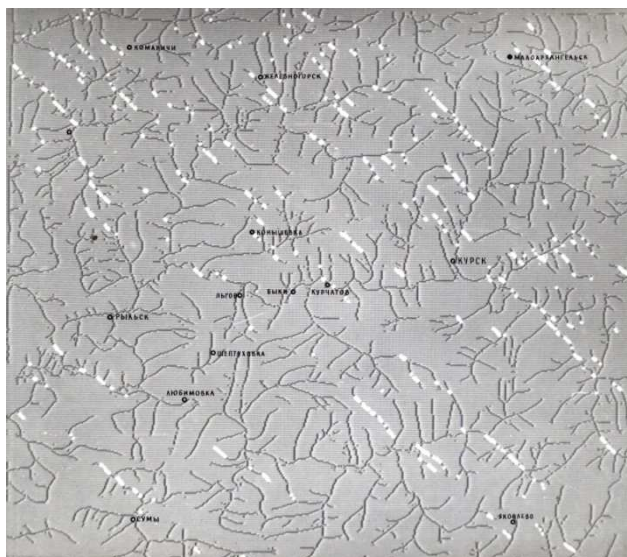


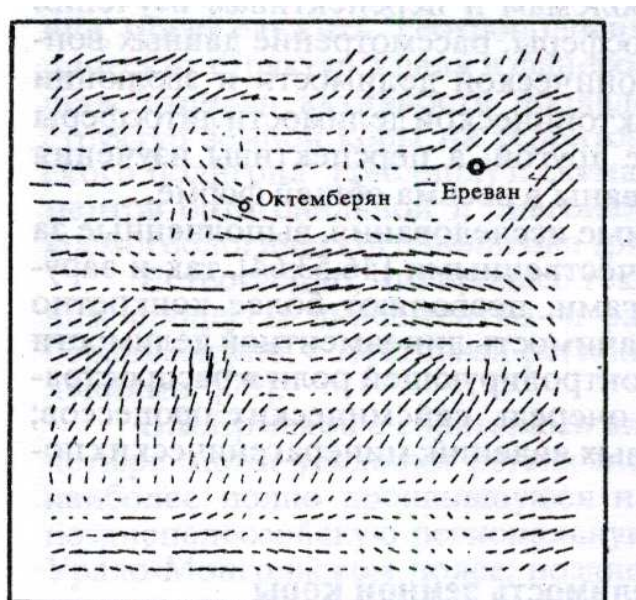
Рис.16. Слева– Космический снимок Москвы (Исходный м-б 1 : 50 000);

справа – Схема линейных образований г. Москвы

второй – с появлением специальных компьютерных программа, нацеленных на поиск, выявление и статистическую обработку линеаментных систем, выявленных при дешифрировании КС.



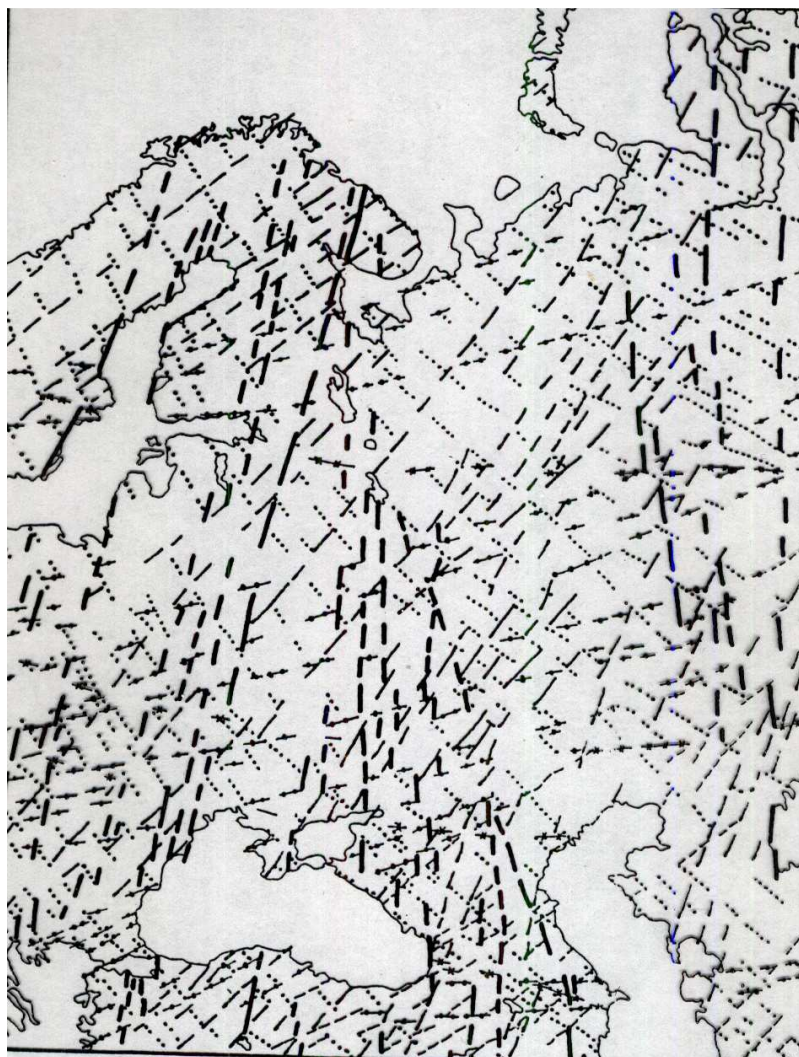
*Рис.17. Пример автоматизированного (компьютерного) выделения
линеаментов Курского КГП (по программе LESSA)*



*Рис. 18. Пример поиска и выделения
скрытых тектонических нарушений
с помощью компьютерной версии линеаментного анализа LESSA
(по схеме результирующих векторов роз-диаграмм
прямолинейных элементов ландшафта).*

**Основные результаты,
полученные в течение 115-летнего изучения линеаментов и
их систем**

Под линеаментами понимаются линии (границы) резкого (градиентного) изменения параметров географической среды, геологической структуры и геофизических полей [Полетаев, 1994].



*Рис. 19. Линеаментные системы Восточно-Европейской
платформы*

(исходный м-б 1 : 7 500 000) [Кац, Полетаев, Румянцева, 1986].

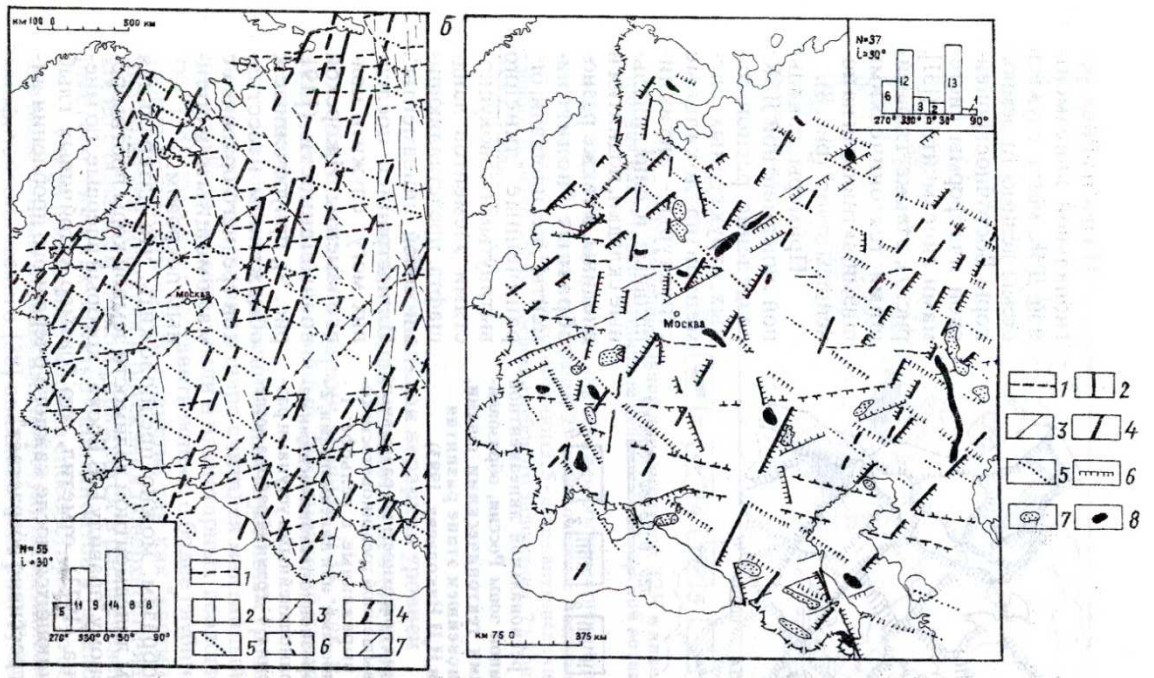


Рис. 20. Линеаментные системы Восточно-Европейской платформы:
а) магнитного поля (исходный м-б 1 : 10 000 000), б) гравитационного поля (исходный м-б 1 : 7 500 000)

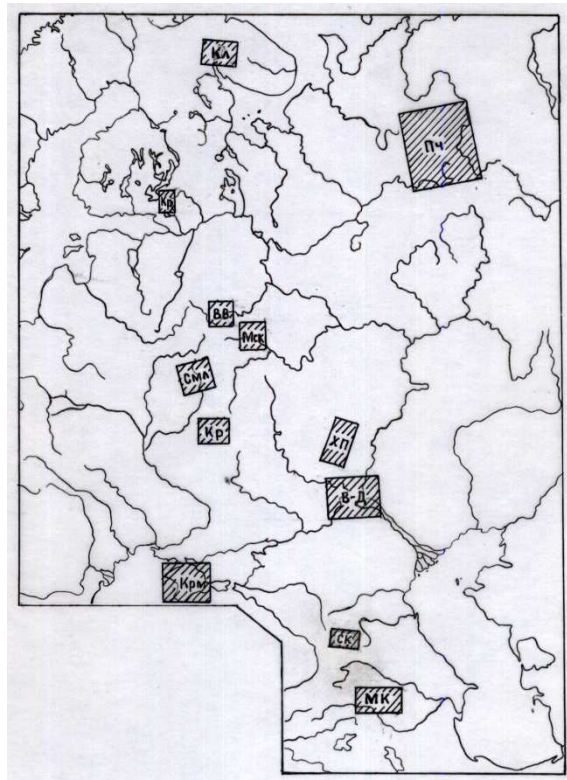


Рис. 21. Космогеологические полигоны (КПП)
Восточно-Европейской платформы,
на которых разрабатывалась методика ЛАЗК

К настоящему времени показано, что в *географической среде* индикаторами *линеаментов* могут быть:

- резкая смена растительности (**рис.22**), обводнённости, заболоченности, заовраженности;
- линейно ориентированные русла рек (**рис. 23А**) и ручьёв, тальвеги оврагов и балок, линейные ограничения лесных массивов, озёр и болот (**рис. 23Б**); линии первого промерзания (осенью) и первого протаивания (весной);
- линейное расположение изгибов русел рек или их долин, водопадов, озёр и (или) болот, облачности;
- резкая смена рисунка гидросети на топокартах, АФС и КС;
- резкая смена фототона или фоторисунка на АФС и (или) КС;



Рис. 22. Слева – КС Смоленского КГП, справа – типичный ландшафт Смоленского КГП

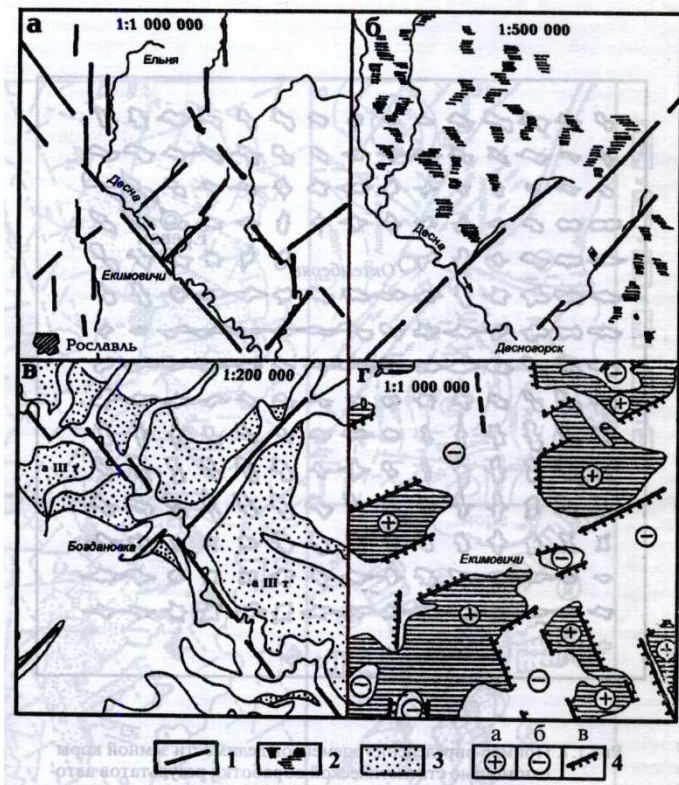


Рис. 23. Индикаторы линеаментов района расположения Смоленской АЭС: А – спрямленные участки рек; Б – прямолинейные границы болот; В – резкое изменение ширины террасовых комплексов; Г – прямолинейные границы участков магнитного поля

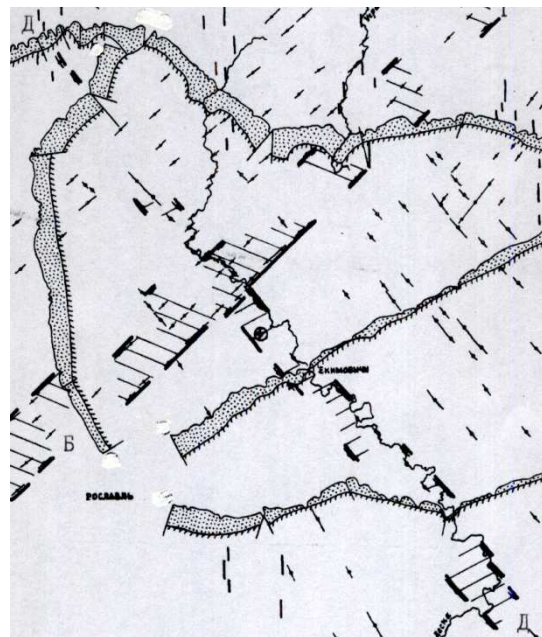


Рис. 24 . Отражение диагональных линеаментов в мощности четвертичных отложениях Смоленского КГП



Рис. 25. Слева – КС Курского КГП; справа – Линеаменты северной части Курского КГП: 1 – 3 – линеаменты; на врезке: 4 – зоны ожелезнения, 5 – микросдвиговые смещения трещин; 6 – проявления железа

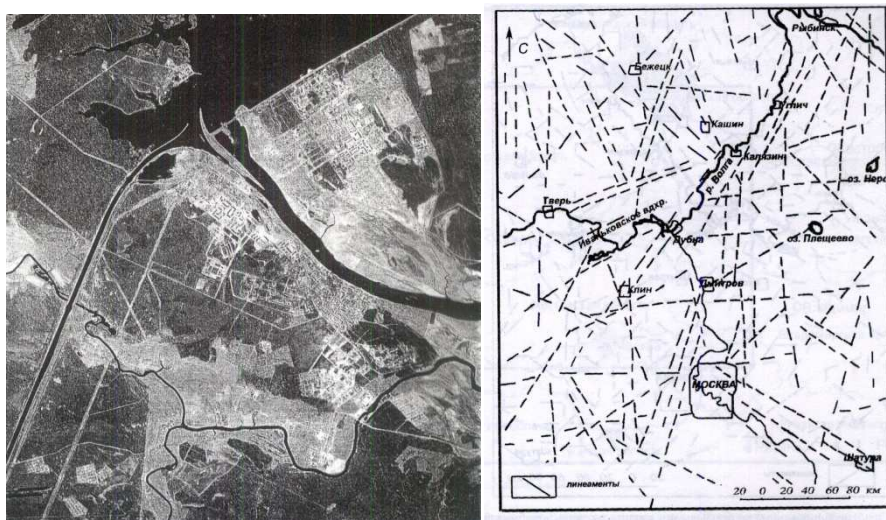
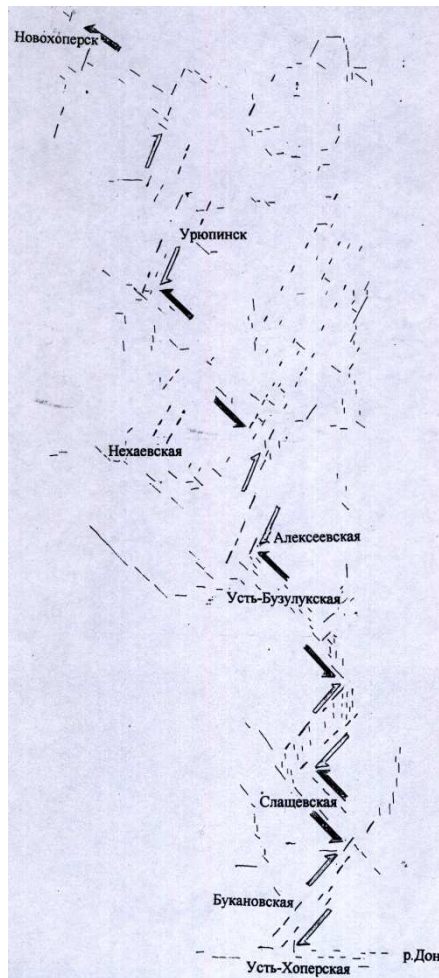


Рис. 26 . Слева – КС района Дубны (Верхне-Волжский КГП); справа – Линеаменты Верхне-Волжского КГП, выделенные по КС

[по: Короновский, Анисимова, 2007, с. 42]



***Рис.27. Пример того, как коленообразные изгибы русла реки Хопёр
(на меридиональном отрезке Новохопёрск – Усть-Хопёрская)
чётко индицируют линеаменты СЗ- и СВ-го простираний
(Хопёрский КГП);***

в геологической структуре:

- границы континентальной и океанической кор;
- зоны сочленения платформ, плит и горно-складчатых поясов;
- линейное расположение вулканических очагов или интрузивных тел;
- линейные ограничения авлакогенов, грабенов и рифтов; срединных массивов, межгорных впадин и прогибов;
- линии выклинивания геологических, тектонических и прочих зон;

- зоны повышенной трещиноватости и дислоцированности;
- флексуры, валы и прочие линейные образования;
- геологические границы и литологические контакты;
- границы участков и площадей с различным структурным рисунком;
- линейно расположенные геохимические, гидрогеологические и прочие аномалии;
- зоны повышенной закарстованности и пр;

в геофизических полях:

- границы участков и областей с различной морфологией полей;
- градиентные зоны и зоны прерывания осей аномалий;
- зоны нарушения (или потери) корреляции;
- оси положительных или отрицательных аномалий;
- зоны затухания сейсмических колебаний;
- линейное расположение очагов (эпицентров) землетрясений.

По масштабу выделяются *линеаменты планетарные, региональные и локальные.*

Генезис планетарных и региональных линеаментов связывается с напряжениями, возникающими в результате вращением Земли вокруг своей оси и её обращения вокруг Солнца, т.е. *обусловлен ротационными причинами;*

допускается, что *происхождение локальных линеаментов* может быть связано с тектоническими перестройками конкретного блока земной коры.

***Линеаменты* любого масштаба образуют *две системы: ортогональную*, состоящую из линеаментов субмеридионального и субширотного простираний,**

и *диагональную*, состоящую из линеаментов СЗ – ЮВ-го и ЮЗ – СВ-го простираний;

при этом линеаменты всех простираний развиты не хаотично, а закономерно, соблюдая *«правило эквидистантности»*, т.е. равноудалённости друг от друга.

Предполагается, что **появление линеаментов** пятого и более «высоких» простираций связано с тектоническим вращением тех блоков земной коры, в которых данные линеаменты начали развиваться.

Установлено, что **планетарные линеаменты** являются **транзитными–сквозными - структурами**,

которые прослеживаются на огромные расстояния, пересекая континенты и океаны, невзирая на какие-либо геологические границы, например, на границы платформ и горно-складчатых поясов;

они **отражают линейные деформации** и дислокации не только земной коры, но, вероятно,

и значительно более глубоких сфер нашей планеты,

вплоть до ядра (рис. 28).

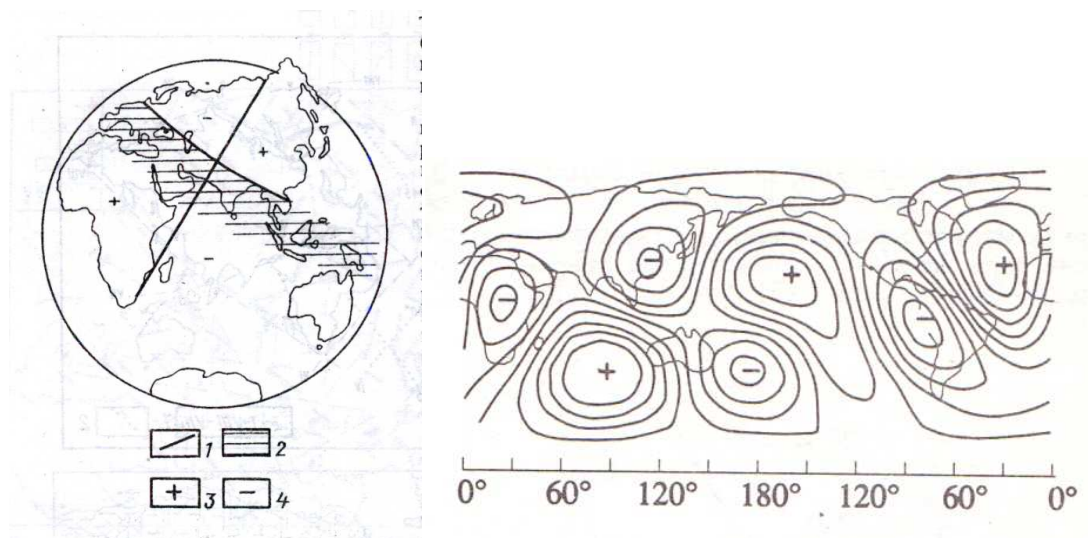


Рис. 28. Слева – **Основные планетарные структуры Восточного полушария Земли**: 1 – планетарные линеаменты; 2 – планетарная зона дробления земной коры; 3 – секторы воздымания; 4 – секторы опускания [Полетаев, 1986]; справа – **Рельеф границы ядро-мантия** [по: Морелли, Дзевонски, 1990.]

Менее глубинные нарушения отражаются **трансконтинентальными структурами** (рис. 29).

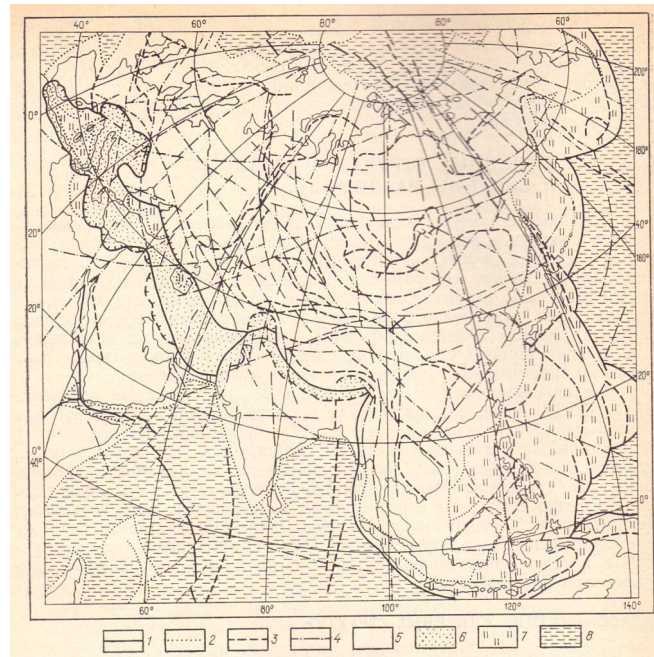


Рис. 29 . Системы трансконтинентальных разломов Евразийского материка и окружающих его пространств: 1 – граничные разломы современных литосферных плит; границы древних литосферных плит:

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

[по: Буш, 1987, с. 46; со ссылкой на: Буш, 1983]

Региональные линеаменты:

– трассируют глубинные, т.е. истинные – динамические границы основных структур континентов: древних платформ, молодых плит и разновозрастных горно-складчатых поясов,

а не их «искаженные» проекции на дневную земную поверхность;

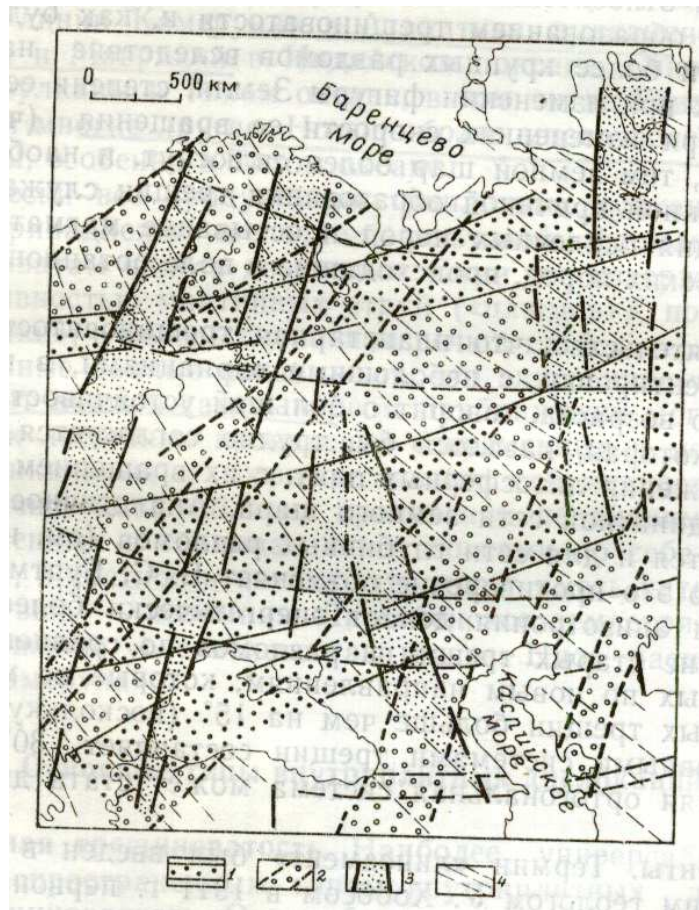


Рис. 30. Линеаментные зоны ВЕП по результатам дешифрирования КС и анализа топографических карт [А.И. Полегаев, 1986].

– «оконтуривают» основные элементы инфраструктуры земной коры древних платформ, молодых плит, горно-складчатых поясов и их зон сочленения;

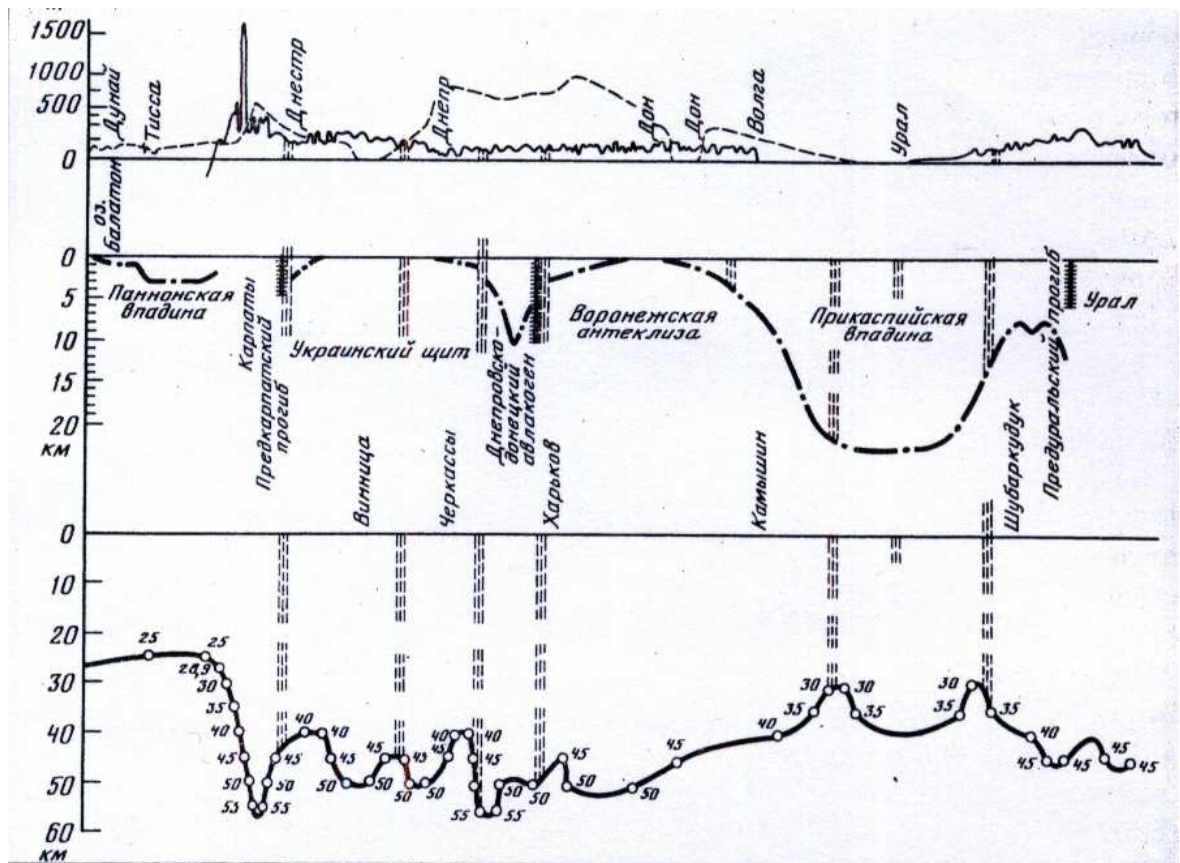


Рис. 31. Отражение основных линеаментов ВЕП

в глубинном строении и современных движениях земной коры

(профиль по линии оз. Балатон – Урал; исходный м-б 1 : 2 500 000)

– разграничивают области, зоны и участки с различными сейсмическими параметрами и **«упорядочивают»** современный гидрографический рисунок «лика Земли», обуславливая направление долин рек и овражно-балочной сети, простираение морских и океанических побережий, ориентировку горных гряд и ущелий и т.д.

Локальные линеаменты (рис. 32)

могут рассматриваться

как индикаторы детальной инфраструктуры земной коры,

скрытой от непосредственного наблюдения

природными или техногенными процессами и/или объектами.



Рис. 32. Локальные линеаменты Чашниковской впадины

Таким образом, линеаменты, во-первых, и их системы отражают элементы глубинного строения не только земной коры, но и значительно более глубоких сфер нашей планеты, вплоть до границы ядро-мантия.

Во-вторых, они трассируют глубинные, т.е. истинные, динамические границы древних платформ, молодых плит и разновозрастных горно-складчатых поясов, а не их «искажённые» проекции на дневную поверхность Земли.

И, наконец, в-третьих, они разграничивают области, зоны, участки, различающиеся направленностью и активностью современных геологических процессов, как эндогенных, например, сейсмических (рис. 33), так и экзогенных.

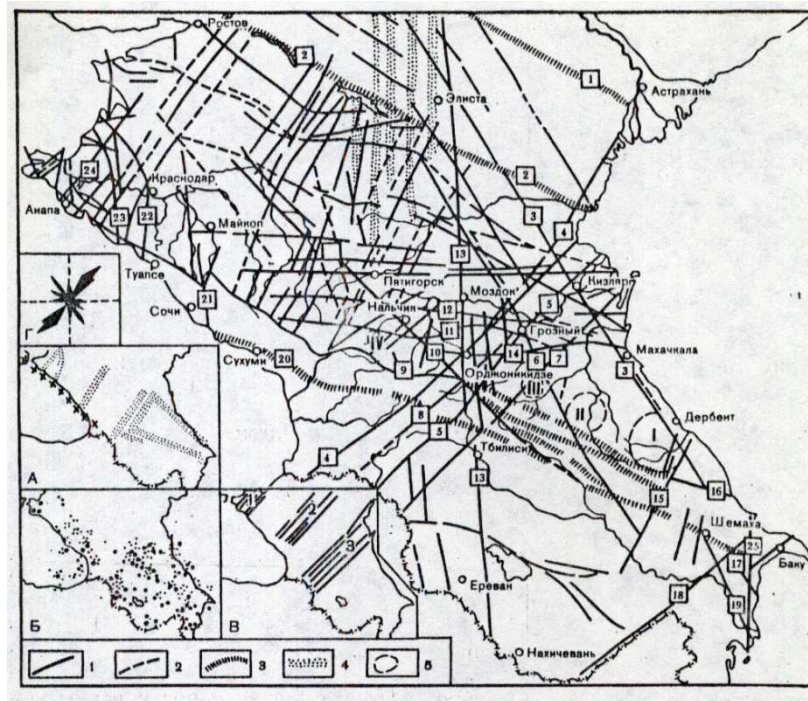


Рис.33 . Линеаменты Кавказа и Предкавказья, отдешифрованные на космических снимках [по: Короновский, 1984]:

1 – хорошо выраженные линеаменты; **2** – плохо выраженные линеаменты; **3** – зоны сближенных линеаментов; **4** – «размытые» линеаменты с неясными границами; **5** – кольцевые структуры.

На врезках: – сейсмогенные зоны: точками – по сейсмическим данным (зоны затухания коэффициента S), крестиками – по другим геофизическим данным;

Б – распределение эпицентров землетрясений (размер точек указывает на относительную величину магнитуды);

В – линеаментные зоны Кавказа: **1** – Новороссийско-Маньчская; **2** – Центральнокавказская; **3** – Аджаро-Кизлярская;

Г – роза-диаграмма ориентировки линеаментов.

В квадратах указаны номера наиболее крупных линеаментов:

1 – Пограничный, **2** – Маньчский, **3** – Волгоград-Дербентский, **4** – Аджаро-Астраханский, **5** – Аргунский, **6** – Аргун-Джкертмутский, **7** – Аграхан-Тбилисский, **8** – Казбекско-Цхинвальский, **9** – Главного надвига, **10** – Армави́ро-Алазанский, **11** – Пшекиш-Тырныаузский, **12** – Терско-Хасаутский, **13** – Моздокско-Тбилисский, **14** – Владикавказский, **15** – Самурский, **16** – Сиазанский, **17** – Аджичай-Алятский, **18** – Аагы-Аразский, **19** – Ленгибиз-Алятский, **20** – Гагро-Вандамский, **21** – Пшехско-Адлерский, **22** – Туапсинско-Краснодарский, **23** – Новороссийский, **24** – Анапский, **25** – Яшиминский.

Кольцевые структуры: **1** – Самурская, **11** – Аварская, **111** – Андийская, **IV** – Верхнечегемская

С целью дальнейшего совершенствования ЛАЗК
в **Лаборатории геологических исследований**
космическими методами

кафедры динамической геологии Геологического факультета
МГУ им. М.В.Ломоносова

в рамках программы «**ГЕОСИНТЕЗ**»

была разработана *телескопическая схема линеamentного анализа – ТеСЛА*, апробированная при изучении скрытых линейных нарушений, развитых на территории «*точечных*» техногенных объектов типа АЭС [Полетаев, Кац, Леонов, 1991] (рис. 34).

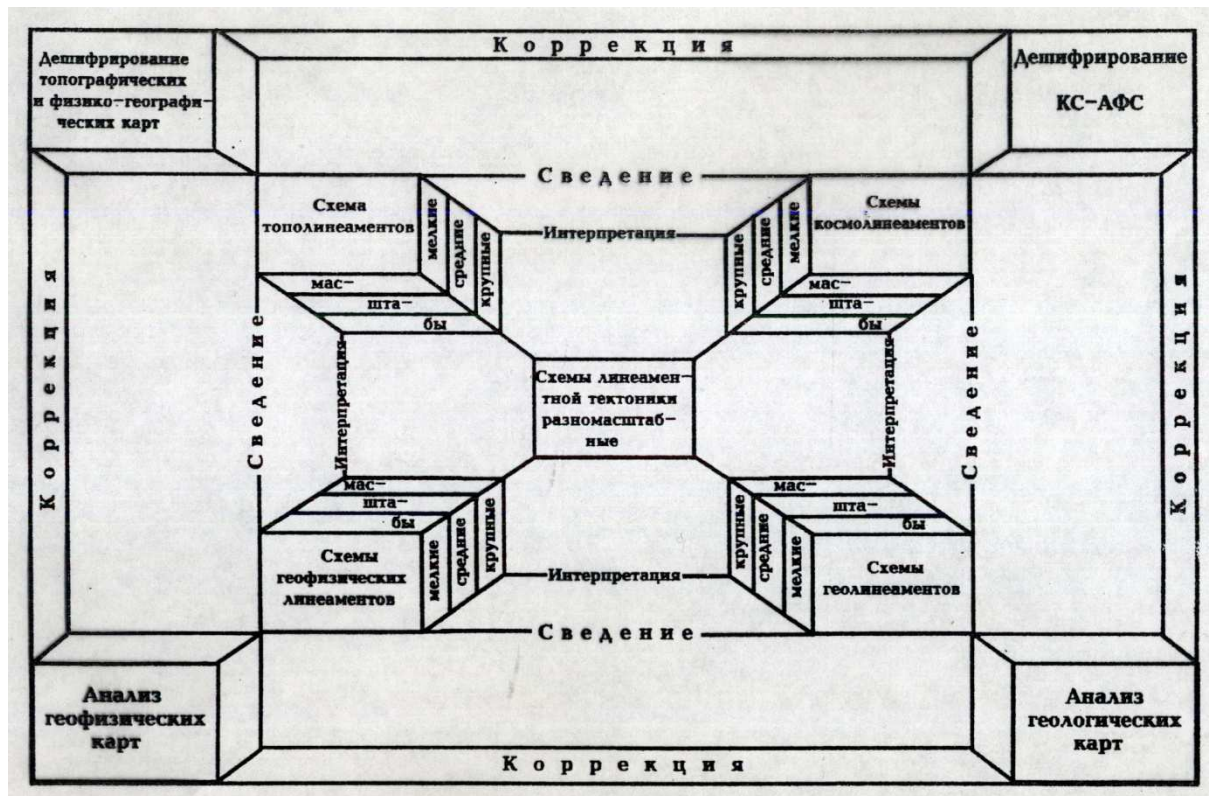
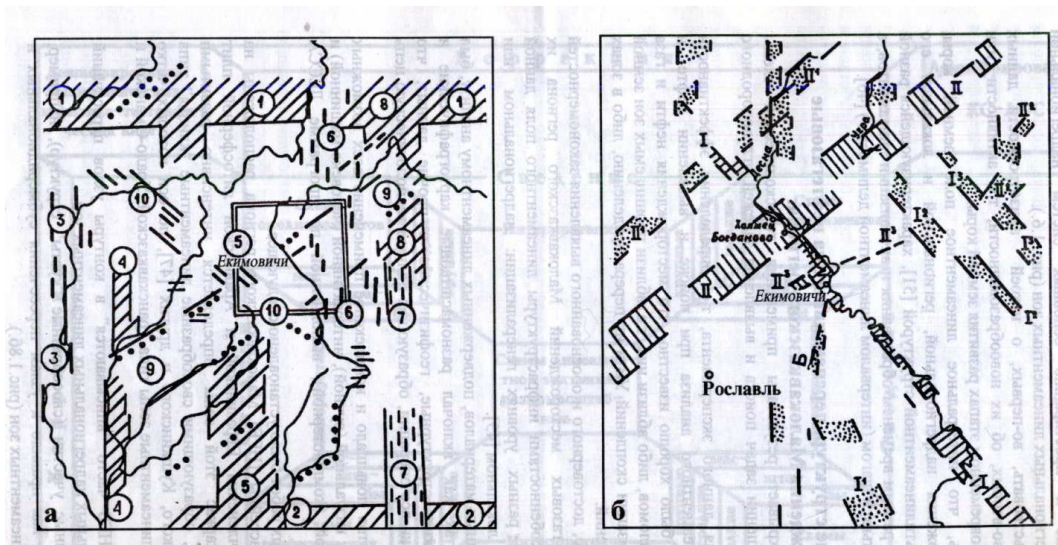


Рис.34. *Телескопическая схема линеamentного анализа (ТеСЛА)*

Суть данной схемы заключается в том, что последовательные стадии линеamentного анализа – дешифрирование, корреляция, идентификация, интерпретация и составление результирующих схем и карт – проводятся таким образом, что в центре разномасштабных (от мелкомасштабных схем к крупномасштабным) построений постоянно находится территория исследуемого региона, мегаполиса, участка, даже единичного «точечного» объекта, например, площадки АЭС и пр.



*Рис. 34а. Пример применения ТеСЛА при изучении структур Смоленского космо-геологического полигона:
а) м-б 1 : 1 000 000; б) м-б 1 : 200 000.*

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО ПОЛЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В результате линеamentного анализа разномасштабных (от планетарного до локального) материалов дистанционного зондирования различных регионов Земли установлены основные черты, присущие линеamentному полю, в целом, и его отдельным составляющим, в частности.

Автономность и приоритетность.

Линейные геологические объекты,
например, **разрывы**,
представляют собой отдельные **фрагменты**
более протяжённого **линеамента**,
а не наоборот (*рис. 35*).

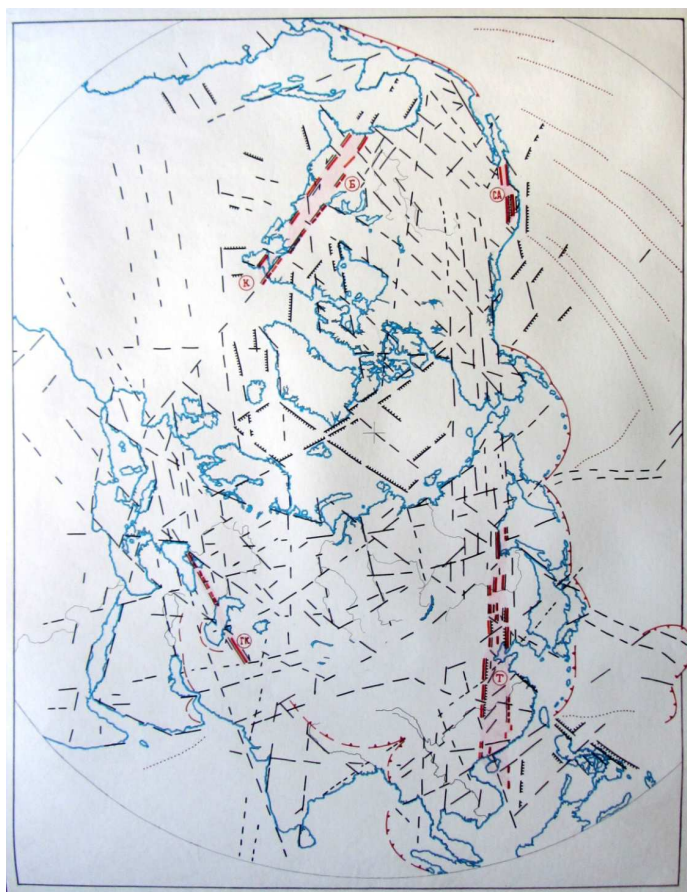


Рис.35. Скрытые тектонические нарушения Северного полушария Земли

Буквами обозначены крупнейшие разломы: Б – Бревард,

ГК – Главный Копедагский,

К – Кабот, СА – Сан-Андреас, Т – Танлу

Планетарность или ***транзитность*** (по горизонтали).

И отдельные линеаменты и их системы

– как ортогональные, так и диагональные –

«просвечиваются» как через чехол древних платформ,

так и через молодые горно - складчатые сооружения,

а также отражаются в батиметрии морских и океанских акваторий

(см. рис. 35; 36).

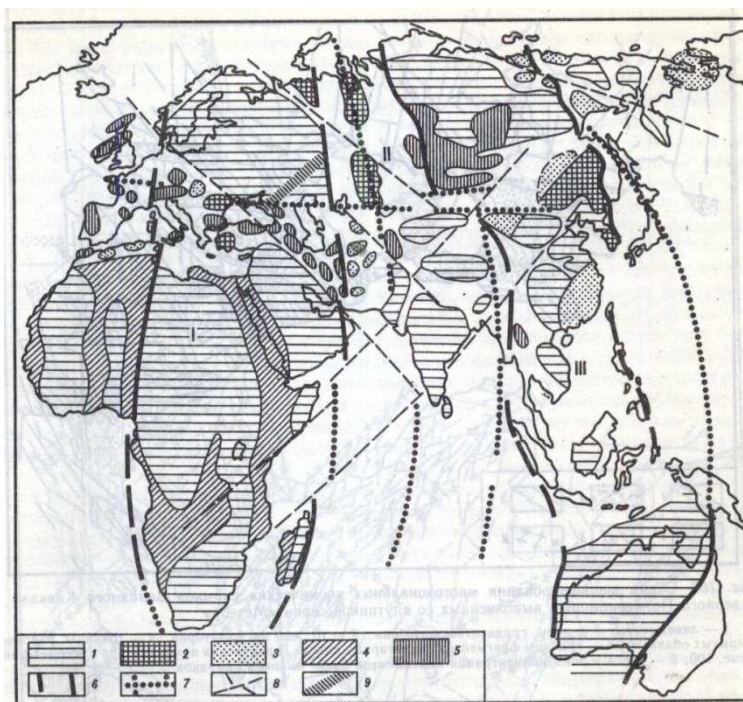


Рис.36. Соотношение докембрийских структурно-вещественных комплексов и элементов планетарной структуры I – III рангов

[Сенин, 1985, с. 283]

1 – эпикарельские платформы; 2 – 3 – массивы дорифейской консолидации; 4 – массивы позднепермийской – делийской и байкальской консолидации в Африке; 5 – выходы докембрийских пород на геологических картах Европы и Азии; 6 – границы планетарных поясов I ранга – мегавалов (I и III) и мегадепрессий (II) в соответствии с их отражением в рельефе; 7 – элементы планетарной ортогональной структуры II и III рангов; 8 – элементы планетарной диагональной структуры II и III рангов; 9 – зона высоких градиентов мощности чехла Восточно-Европейской платформы (с сокращениями).

Ритмичность и / или эквидистантность.

А. Добэр в XIX веке сформулировал

**«принцип равноудалённости элементов геологической структуры»,
который наиболее ярко выражен**

в равноудалённости (шаге или интервале)

как отдельных линеаментов,

так и их систем друг от друга:

глобального уровня (1:35 000 000) – от 700 до 350км;

надрегионального уровня (1:7 500 000) – от 700 – 500 до 100 – 75км;

регионального уровня (1:2 500 000) – от 100 – 75 до 25 – 20км,

(1:1 000 000) – от 50 до 10км,

(1:500 000) – от 25 до 5 км;

детального уровня (1:200 000) – от 10 до 2км,

(1:100 000) – от 5 до 1км,

(1:50 000) – от 3,5 до 0,5км;

локального уровня (1:25 000) – от 2,5 до 0,25км,

(1:10 000) – от 1,5 до 0,1 км.

.....

Средний шаг трещиноватости четвертичных отложений и коренных пород может колебаться от нескольких метров до нескольких сантиметров.

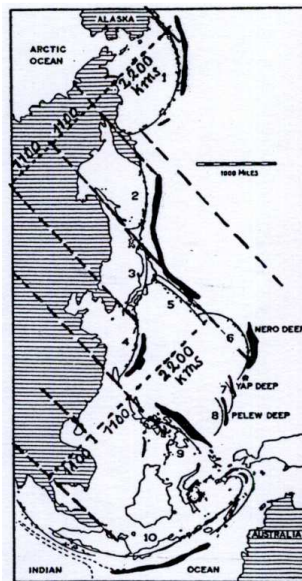


Рис. 37. Пример равноудалённости (эквидистантности) линейных (линеаментов) Западного побережья Тихого океана [по: Зондер, 1956]



Рис. 37а. Зубчатые вершины Мон-Блана

[Из кн.: Варсанюфьева В. А. *Жизнь гор.* – М.: Изд-во МОИП, 1950, с. 30].

Делимость линеаментного поля.

В процессе деформационного преобразования (структурирования) земной коры на разных её уровнях образуются разномасштабные неоднородности пластичной и хрупкой природы [Полетаев, 1994].

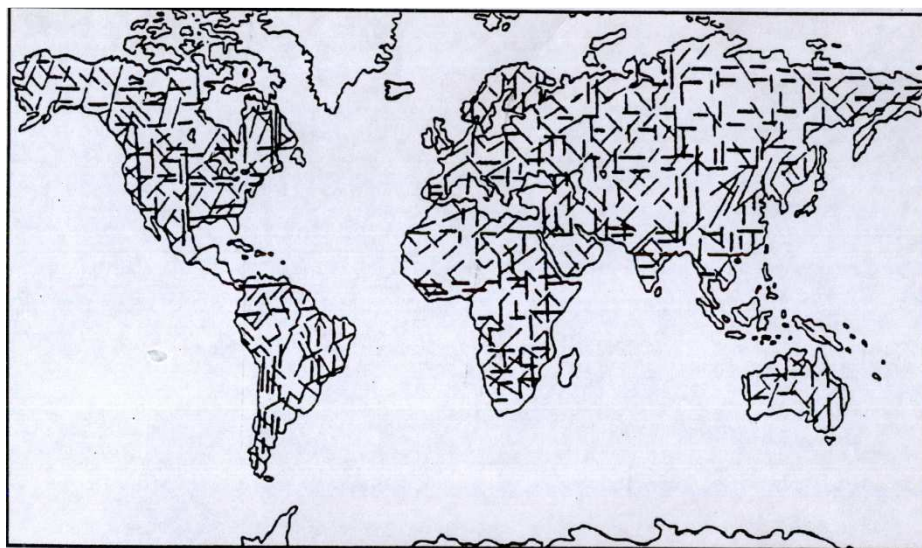


Рис. 38. *Линеаментная делимость (матрица) континентов Земли.*

Исходный м-б 1 : 30 000 000 [Полетаев, 1994].

Узловатость линеаментного поля.

В результате деформационного преобразования земной коры
в местах сочленения и / или пересечения
пластичных или хрупких неоднородностей
(т.е. *в углах делимости*) образуются *узловые структуры*,
имеющие аномальные физико-геологические характеристики
[Полетаев, 1992].

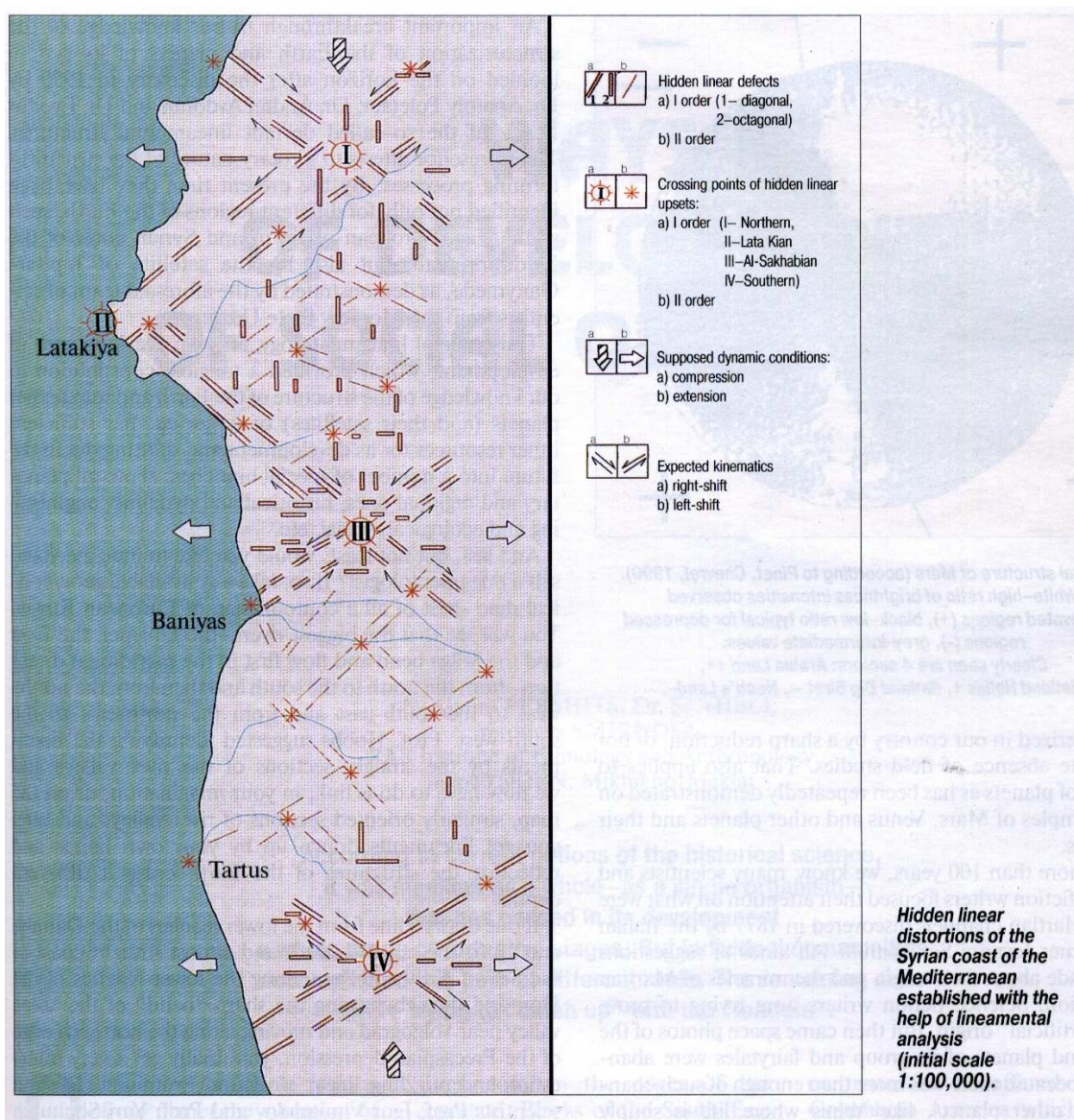


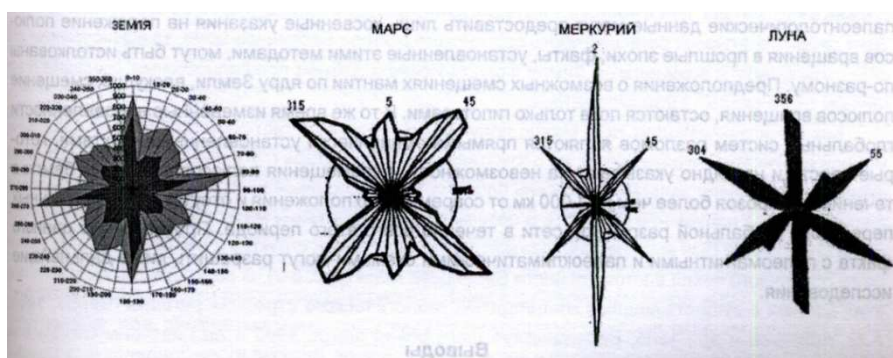
Рис. 39 . Узловые структуры Средиземноморского побережья Сирии

[А.А. Желобаев и др. – *Линеаментология: от фактов к научному направлению* / «Наука в России», 2005, №6, с. 31 – 38].

Изотропность и анизотропность линеаментных полей.

**Предельный случай изотропности –
равновеликость лучей гистограмм простираний линеаментов
всех систем;**

**предельный случай анизотропности – доминирование какой - либо
одной из систем линеаментов.**



**Розы-диаграммы разрывных нарушений Земли
и других планетных тел [по Г.Н. Каттерфельду,2000]**

Консервативность или ревелаторность (отражённость).

**Зародившись, по Г. Штилле,
на границе архей / протерозой,
т. е. на стадии становления «хрупкой» земной коры,
«кардинальные» линеаменты и их системы
могут испытывать дискретное омоложение
и / или активизацию
и в геологическом времени и пространстве.**

Мультилинеаментность

и / или

трансляционность (по вертикали)

Линеаменты образуют **многоуровневый** –
ядро – мантия – Мохо – фундамент – чехол – дневная поверхность
– **структурный каркас Земли,**

выраженный в скрытой (*латентной*) форме, но чётко регламентирующий как основные тенденции структурирования планеты, закономерности развития эндогенных и экзогенных процессов, так и особенности металлогении и минерагении.

Фрактальность или *транзитность (по вертикали).*

Линеаментные сочетания (*рисунки*) повторяются на всех –
от планетарного до локального –
уровнях (*см. рис. 38, 33, 32*).

Девииантность (отклоняемость).

Простираение отдельных линеаментов или их систем постоянно отклоняются от основных простираений линеаментной *матрицы* земной коры, указывая таким образом на возможные **вращательные (ротационные) движения блоков** земной коры, внутри которых они (линеаменты) развиты (*см. рис. 19, 30*).

Транзитность (по горизонтали).

По простираению линеаменты «пересекают» гетерогенные структуры земной коры, как континентальные – древние и молодые платформы, разновозрастные горно-складчатые пояса, так и морские и океанские акватории (*см. рис. 11, 30, 35, 36*).

Транзитивность (переходность).

По простиранию линеаменты могут переходить в другие линейные структуры – разрывы, зоны трещиноватости (см. рис. 35), а также образовывать комплексный структурный рисунок с дугowymi и кольцевыми образованиями (рис. 40).

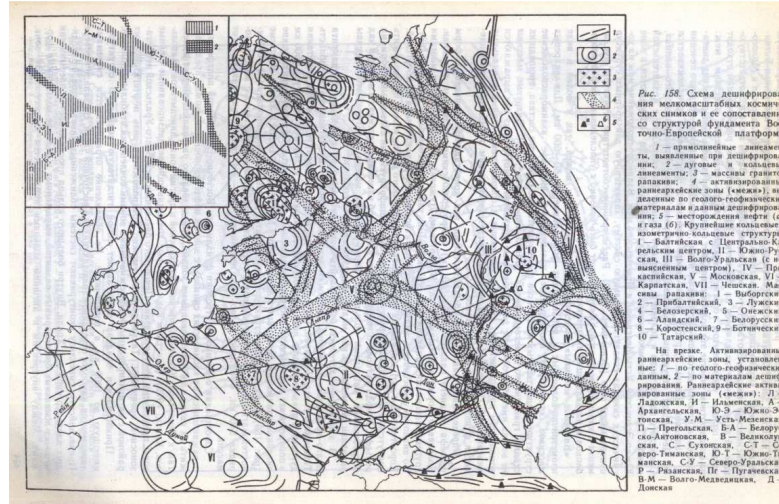


Рис.40. Линеаменты, дуги и кольца Восточно-Европейской платформы

[по Д.В. Лопатину: из: Космическая ..., 1985, с. 443].

Транзиентность (мерцательность).



P.S. Один из итогов: в начале XXI века было показано:

«Линеаменты на поверхности платформенного чехла, отличающиеся повышенной интенсивностью газовых эманацій и сопутствующими негеологическими явлениями (растительность и т.п.), в сочетании с отсутствием геоморфологических признаков (гряды, ложбина, уступ в рельефе и т.п.), являются следствием (и признаком) существования в фундаменте разлома, вдоль которого «прорывается» высоконапорный флюид, создающий в чехле над разломом зону повышенной трещиноватости и проницаемости»

[Гончаров, 2005, с. 25].



Михаил Адрианович ГОНЧАРОВ

(1933 – 2014)

**Известный геолог-тектонифизик,
Лауреат премии Н.С. Шатского (2006)**

ПРОБЛЕМЫ ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ

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);

1958г. - «...природная линейная особенность, состоящая из топографических (включая прямые отрезки рек, ручьев), растительных и почвенных выравниваний, видимых первоначально на аэрофотоснимке или на мозаике аэрофотоснимков и выраженных непрерывно или прерывно на многие мили» (Л.Латтман);

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, 1973, т.1);

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

1991г. - «Видимая направленная форма рельефа или геологической структуры, точность выявления которой зависит от случая» (Структурная геология и тектоника плит, 1991, т. 2);

1999г. - «...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).

2013 г.— линейные, прямые или дугообразные геоструктурные элементы земной коры, имеющие планетарное значение, появление и формирование которых на протяжении очень продолжительного времени обусловлено, в той или иной степени, глубинными разломами,

выраженным в структуре земной коры и её элементов. Направления развития этих структур на разных этапах может существенно различаться, известны инверсионные этапы развития этих элементов земной коры.

(Первушов Е.М., Ермохина Л.И., Воробьёв В.Я., Фомин В.А.

Тестовые материалы по учебной программе «*Структурная геология*». Учебно-методическое пособие. Издание второе. – М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2013. (Тираж 300экз.) С.257).

2014 г. – Т.Ю. Тверитинова – В статье: «Линеаменты как отражение структурного каркаса литосферы (линеаменты – разломы или фантомы?)» показала, что:

«Линеаменты выражены как реально существующими геологическими структурами («контактами» и «разломами»), так и своеобразными предполагаемыми координационными линиями («фантомами»), не находящими прямого соответствия в геологической среде.

В общем случае линеаменты – это выражение на поверхности Земли интегральной разноранговой (глобальной, региональной, локальной и т.д.) делимости литосферы (плиты, блок, тела, массивы, геологические формации, минеральные зёрна и т.д.), это своеобразные межблоковые структурно-координационные зоны, являющиеся одновременно зонами концентрации и сброса напряжений сжатия, растяжения или сдвига.

Линеаменты образуют единую для земли фрактально-волновую систему, отражающую интегральное, но в первую очередь, современное напряжённо-деформированное состояние Земли».

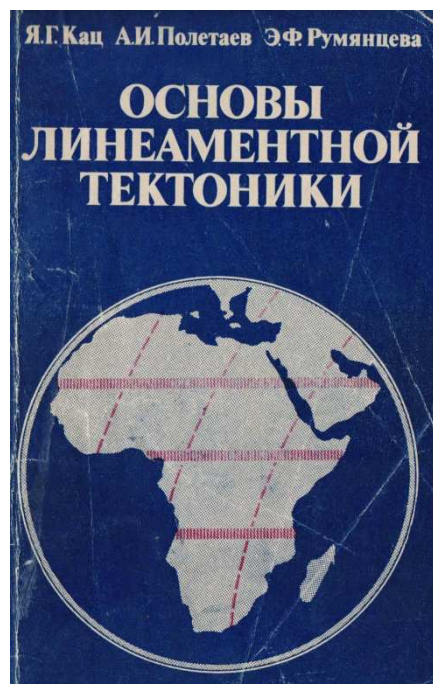
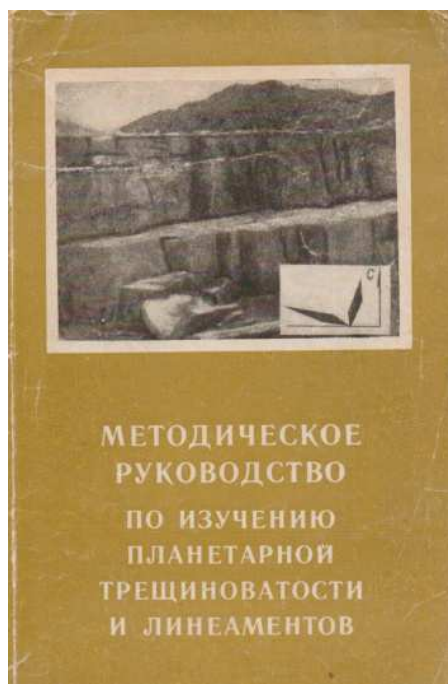
Система «Планета Земля»:

XX лет Семинару «Система «Планета Земля». –

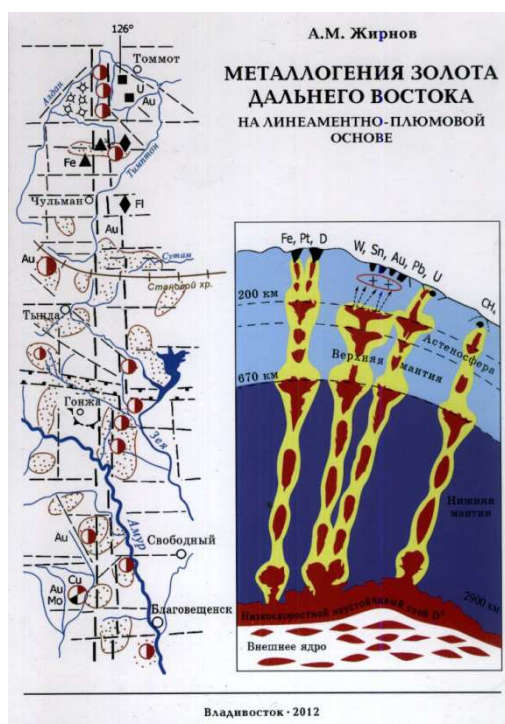
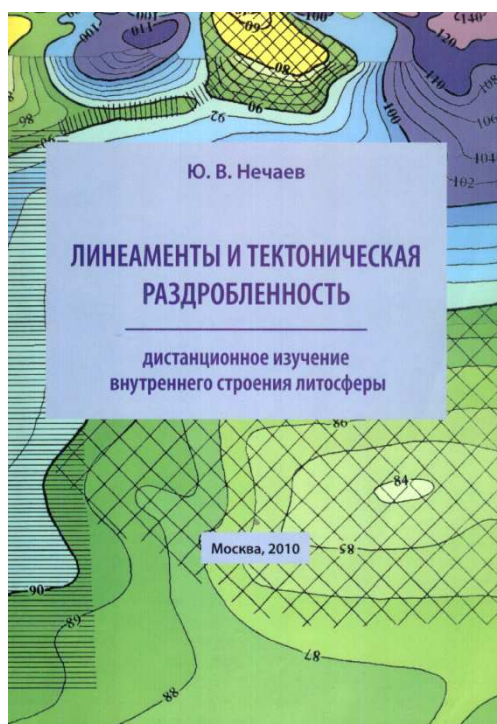
М.: ЛЕНАНД, 2014. – С. 431

2016г. – «...широкая и протяжённая зона концентрации разрывных нарушений, пересекающая платформенную мегапровинцию и / или покровно-складчатый пояс»

(Тектонический кодекс России. – М.: ГЕОКАРТ.ГЕОС, 2016. С.56)
(Тираж 300экз.)



Издания, в той или иной мере освещающие проблемы поиска, выделения и изучения линеаментов Земли



БЛАГОДАРИЮ ВАС ЗА ВНИМАНИЕ!