# ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРМСКОГО УРАЛА И ПРИУРАЛЬЯ

#### Копылов И.С.

Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4), georif@yandex.ru

В статье приводится линеаментно-геодинамический анализ территории Пермского Урала и Приуралья. Разработана методика картирования геодинамических полей на основе комплекса дистанционных и геоинформационных технологий. Установлено более 50 тысяч линеаментов разного ранга, отождествляемых с тектоническими нарушениями фундамента и аэрокосмогеологическим исследованиям. Подтверждена закономерность пространственной сходимости региональных тектонических линеаментов, выделенных дистанционными и геофизическими методами. Выделены геодинамические активные зоны, которые имеют важное значение для поисков месторождений полезных ископаемых и оценки геологической безопасности. Критериями оценки геодинамической (неотектонической) активности являются различные расчетные показатели. Одним их важнейших показателей является очень высокая плотность разломов и тектонических линеаментов. Приведены примеры практического применения линеаментно-геодинамического анализа по выделению зон повышенной трещиноватости и прогнозированию опасных геодинамических участков на нефтегазопроводах, при проектировании и разработке калийных рудников, при изучении факторов карстоопасности территорий, при планировании градостроительной деятельности.

Ключевые слова: тектонические линеаменты, геодинамические активные зоны, аэрокосмогеологические методы, Урал и Приуралье.

# THE LINEAMENT AND GEODINAMIC ANALYSIS OF THE PERM URAL AND PRIURALS

#### Kopylov I.S.

Natural-science institute of the Perm state national research university, Perm, Russia (614990, Perm, Gencelya st., 4). georif@yandex.ru

The lineament and geodinamic analysis of the territory of the Perm Ural and Priurals is provided in article. The technique of a mapping of geodynamic fields on the basis of a complex of space and geoinformation technologies is developed. It is established more than 50 thousand lineaments of a different rank identified with tectonic breaks of the base and a sedimentary cover on space geological researches. Regularity of spatial convergence of regional tectonic lineaments allocated with space and geophysical methods is confirmed. The geodynamic active zones which are important for searches of mineral deposits and an assessment of geological safety are allocated. Criteria of an assessment of geodynamic (neotectonic) activity are various settlement indicators. One their major indicators is very high density of breaks and tectonic lineaments. Examples of practical application of the lineament-geodynamic analysis on allocation of zones of the raised in cracks and forecasting of dangerous geodynamic sites on oil and gas pipelines are given, at design and development of potash mines, when studying factors of a karst danger of territories, when planning town-planning activity.

Keywords: tectonic lineament, geodynamic active zones, space geological methods, Ural and Priurals.

**Введение.** Для оценки геодинамической активности территорий в общем комплексе геологических работ большое значение имеют аэрокосмогеологические исследования (АКГИ). В Пермском крае они проводятся более 50 лет. Изучена практически вся территория края (160,6 тыс. км²) исследованиями различных масштабов — от регионального уровня (масштаб 1:500 000 и мельче) до детального уровня (масштаб 1:25 000 и крупнее).

#### Методика и результаты исследований

Основным видом работ в комплексе АКГИ является структурное (линеаментное) дешифрирование – выделение на материалах аэрокосмических съемок (МАКС) с помощью

геоиндикационных признаков (геоморфологических, ландшафтных, гидрогеологических и др.) элементов структурно-тектонического строения и неотектонических особенностей изучаемой территории. При структурном дешифрировании на снимках выделяются линейные и кольцевые образования.

Для обозначения линейных объектов, выделенных по снимкам закрытых территорий, используется термин «линеамент» – линейные неоднородности земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, глубины и возраста заложения [1; 6]. Существует более ста его понятий и определений. В практике пермской школы аэрокосмогеологов он понимается как прямолинейный индикатор тектонических нарушений, проявленный на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно геологическими и ландшафтными аномалиями.

Главной задачей изучения прямолинейных линеаментов является выяснение их природы. Всесторонний анализ результатов дистанционных исследований и данных, полученных традиционными геолого-геофизическими методами, позволяет предполагать отражение прямолинейными линеаментами трещинно-разрывных деформаций осадочного чехла и взаимосвязь линеаментов с напряжёнными зонами земной коры и зонами повышенной трещиноватости и проницаемости в породах осадочного чехла, известными как геодинамические активные зоны.

Линеаментно-геодинамический анализ представляет собой комплекс геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов картирования полей тектонической трещиноватости и геодинамической активности. Анализ заключается в получении исходной модели линеаментного поля путем дешифрирования МАКС, далее — в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности, построение ее картографических моделей разного уровня детальности [5]. Дешифрирование линеаментов состоит из следующей последовательности: выделение линейных объектов и составление схем линеаментов; обработка схем линеаментов; установление закономерностей в распределении линеаментов.

В последние годы в практике АКГИ Пермского края и других регионов стали широко применяться современные цифровые КС и новые ГИС-технологии их обработки. Основной объем дешифрирования выполнялся на цифровых спектрозональных КС высокого и среднего разрешения, которые характеризуются высокой геологической информативностью, достаточной контрастностью, с отчётливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов.

Методика компьютерного космогеологического дешифрирования заключалась в выявлении по характеру фотоизображения различно ориентированных линеаментов,

картировании неотектонических блоковых структур и морфоструктур с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами, с применением ГИС-технологий. Технология компьютерного дешифрирования КС и обработки данных реализована на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей. Методологически это выполнялось путем системного анализа (дешифрирования) МАКС разного масштаба от мелкого – к крупному.

В результате дешифрирования МАКС на территории Пермского Приуралья, выявлена сеть основных прямолинейных линеаментов различных направлений, предположительно отобразивших активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещино-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте. Выделено 48 946 линеаментов. По протяжённости они подразделены на 5 таксономических рангов (таблица).

Таблица 1 – Результаты дешифрирования линеаментов на территории Пермского края

| Ранги<br>линеаментов                           | Протяженность прямолинейных линеаментов, км | Масштаб<br>дешифрирования КС | Количество<br>линеаментов |
|--|---|------------------------------|---------------------------|
| региональные<br>большой<br>протяженностью      | 200-1110                                    | 1:10 000 000<br>1:5 000 000  | 143                       |
| региональные<br>значительной<br>протяженностью | 100-200                                     | 1:2 500 000                  | 196                       |
| зональные                                      | 25-100                                      | 1:1 000 000<br>1:500 000     | 1400                      |
| локальные                                      | 5-25  | 1:200 000                    | 7056                      |
| локальные<br>и короткие                        | 1-5 (до 10)                                 | 1:100 000                    | 40151                     |

Установлены региональные прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом наиболее четко на КС выражена серия северо-западных и северо-восточных линеаментов а также субмеридиональные (рис. 1).

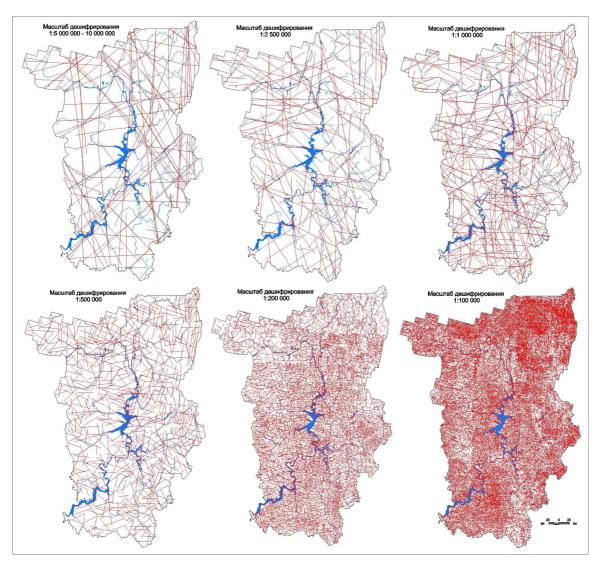


Рис. 1. Схемы линеаментных полей Пермского Урала и Приуралья.

В целом отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем глобальных и региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 330° и 60°; ортогональная система – 10° и 285°. Необходимо отметить, что подавляющее большинство глубинных разломов, выделенных геолого-геофизическими методами, проявляются на космических снимках линеаментами, пространственно совпадая с их осевыми линиями, или трассируясь параллельно им в непосредственной близости. Четко выражена система из пяти основных субмеридиональных разломов Пермского Приуралья и Урала, включая Главный Уральский разлом.

### Обсуждение результатов

Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории, в том числе и общую ориентацию локальных структур. Так, в северо-

восточном районе Пермского Приуралья отчетливо отражается контролирующая роль меридиональных линеаментов для зоны передовых складок Урала (рис. 2).

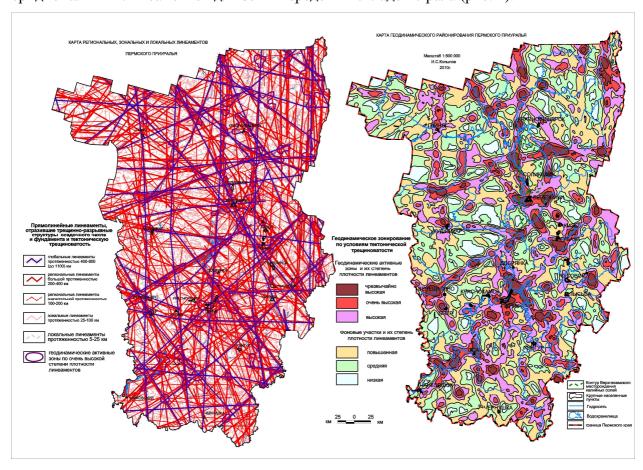


Рис. 2. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья.

Четко выражен серией региональных линеаментов север-северо-западного простирания контакт палеозойских и вендских образований, по которому проводится граница между крупнейшими уральскими структурами. В пределах западных районов Пермского Приуралья отчетливо выделяются крупные геоструктуры, особенно меридионального, северо-западного и северо-восточного простирания. Зональные линеаменты контролируют большинство средних структур. При проведении крупномасштабного дешифрирования особое внимание уделялось картированию коротких линеаментов - мегатрещин, изучение количественного распределения которых имеет наиболее важное значение для поисков локальных положительных структур и месторождений полезных ископаемых, которые они могут контролировать (нефть и газ, коренные источники алмазов, водообильные зоны и др.). Наибольшая густота мегатрещиноватости наблюдается пределах локальных положительных структур, в местах максимального перегиба слоев – на периклиналях, узких различных структурных осложнений, сводах, участках обусловленных неотектоническими движениями. Разрывы, возникшие в новейшее время, или молодые подвижки, возникшие по древним разрывам, почти всегда так или иначе отражаются в строении рельефа [5]. Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная геодинамическая активность.

Оценка геодинамической (неотектонической) активности территории была проведена по нескольким морфонеотектоническим показателям. Основной расчетный показатель — плотность линеаментов и мегатрещиноватости (по протяженности на единицу площади) ранжирован на 6 градаций с учетом баллов статистического распределения по интенсивности [2; 3]. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями. Многочисленные, но небольшие по площади аномалии с повышенной и высокой степенью интенсивности характерны для участков границ неотектонических блоковых структур.

Общий фон составляют значения с очень низкой (1 балл), низкой (2 балл), повышенной (3 балл) степенью плотности линеаментов. Они занимают около 80% рассматриваемой территории. Территории с высокими (4 балл) и очень высокими (5 балл) значениями плотности линеаментов занимают около 15% рассматриваемой территории. Первые из них, как правило, имеют линейную форму с размерами в длину от 20-30 до 100-200 и более километров, в ширину 8-12 км. В их пределах локализуются зоны с высокими значениями плотности линеаментов. Выделяется более 100 активных линейных геодинамических зон. Аномалиями являются локальные участки с чрезвычайно высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Они занимают примерно 5% рассматриваемой территории.

Всего на территории Пермского края по результатам регионально-зональных АКГИ установлено 60 крупных геодинамических активных зон с площадями преимущественно 100-200 км² (крупнейшие: Верхневишерская – 1530 км², Березниковская – 1156 км², Язьвинская – 1040 км², Северопермская – 1025 км²). Пространственно они располагаются: 24 – в платформенной части, 18 – в Предуральском краевом прогибе, 10 – в Западноуральской зоне складок, 8 – на Центральноуральском поднятии. Практически все они находятся на границах тектонических структур или границах неотектонических блоков (рис. 2). Данная карта является региональной моделью геодинамической обстановки – отражает региональные и зональные закономерности геодинамических условий крупной территории, каковой является Пермский край. Она может служить реальной основой для стратегического планирования экономики районов края, проектирования крупных инженерных объектов, сооружений, развития населенных пунктов и др.

Крупные геодинамические аномальные зоны имеют сложное мозаичное строение, и по материалам детальных аэрокосмогеологических исследований они «разбиваются» на многочисленные участки разной интенсивности [4].

Детальный линеаментно-геодинамический анализ проводился во многих районах Пермского края в различных направлениях (рис. 3).

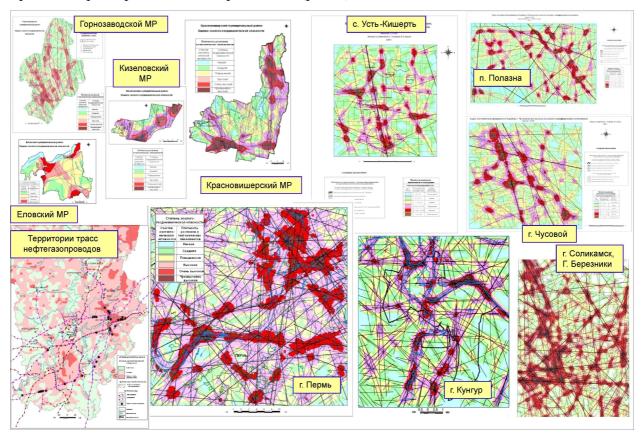


Рис. 3. Геодинамическая оценка различных районов и городов Пермского края.

Основные исследования проводились: при выявлении зон повышенной трещиноватости в пределах нефтепоисковых площадей (масштаб 1:1 50 000 – 1:1 200 000); при прогнозировании коренных источников алмазов (масштаб 1:1 25 000 – 1:50 000); при составлении карты геодинамических активных зон Верхнекамского месторождения калийных солей для изучения водозащитной толщи (масштаб 1:100 000) и на проектируемых добычных участках (масштаб 1:25 000); при картировании зон повышенной трещиноватости при изучении геоструктурных факторов карстоопасности (Уфимское плато – масштаб 1:100 000; Кизеловско-Гремячинский карстовый район – масштаб 1:50 000; районы г. Кунгура, г. Чусового, п. Полазны, с. Усть-Кишерть – масштаб 1:25 000); при выделении потенциально опасных аварийных участков магистральных нефте- и газопроводов (масштаб 1:100 000); при оценке геодинамической опасности территорий муниципальных районов в схемах территориального планирования и разработке генпланов городов (масштаб 1:50 000 – 1:100 000).

Заключение. Выполненный линеаментно-геодинамический анализ на основе результатов проведенных дистанционных исследований имеет важное теоретическое и прикладное значение в инженерной, экологической и поисковой геологии. Особое значение полученные результаты имеют для оценки геологической безопасности городов и горнопромышленных районов с подработанными участками, районов магистральных газопроводов, которыми охвачена большая территория, районов карстовой опасности, где геодинамическая активность наиболее опасна.

## Список литературы

- 1. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А.В. Перцева. СПб. : ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.
- 2. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Пермского Приуралья на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология и полезные ископаемые Западного Урала : мат. регион. науч.-практ. конф. Пермь, 2010. С. 14-18, 336-337.
- 3. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: www.science-education.ru/98-4745 (дата обращения: 29.09.2011). 7 с.
- 4. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2011. Вып. 3. (12). С. 18-32.
- 5. Копылов И.С. Геоморфология и неотектонический анализ рельефа // Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи : монография / Коллектив авторов. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. 49-70 с.
- 6. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М. : Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.

#### Рецензенты

Наумова О.Б., д.г.-м.н., проф., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь. Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.