

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ РАЗЛОМОВ

Ю.О. Кузьмин<sup>1</sup>, А.И. Никонов<sup>2</sup>, Е.С. Шаповалова<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Москва),  
<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа РАН (Москва),  
e-mail: kuzmin@ifz.ru, nikson59@rambler.ru

### Введение

Методические основы дешифрирования геологических объектов, а также линеаментно-блоковых структур, как элементов глубинного строения, на материалах аэрокосмических съемок рассмотрены во многих работах советских авторов (Г.И. Амурский, 1985 г.; В.Н. Брюханов, В.А. Буш, 1982 г.; В.И. Гридин, 2006 г.; Я.Г. Кац, 1985 г.; В.И. Макаров, 1981 г.; Л.М. Расцветаев, 1974 г.; Л.Н. Розанов, 1980 г.; В.Д. Скарятин, 1973 г.; Д.М. Трофимов и др., 1986 г.; П.В. Флоренский, 1973 г.; С.С. Шульц, 1973 г.; и др.).

В приведенных работах определяющим элементом является понятие «линеамент» как отражение тектонических процессов на земной поверхности в виде линейно-ориентированных объектов глобального и регионального уровня.

Первый, кто развил представления о системном расположении линейных планетарных структур, был У. Хоббс. В опубликованных им работах 1901–1911 гг. были заложены основы концепции проявления региональной регматической сети трещиноватости на Земле. До начала XX века подобными вопросами изучения структурных сетей, крупных линейных геологических объектов и их субпараллельной пространственной ориентации занимались У. Хопкинс, Д. Филипс, А.П. Карпинский и др. Однако, определение *линеамента* впервые было введено в геологию в 1904 г. У. Хоббсом. Автор рассматривал линеаменты как реально существующие образования на земной поверхности в виде спрямленных или линейно организованных элементов ландшафта, которые отражают линейные геологические структуры, образующие единые системы с повторяющимся рисунком.

В последующее время (середина 40-х годов прошлого века) с линеаментами стали сопоставлять зоны разломов. Такими учеными, как Р. Зондер, Дж. Умбгрове, Г. Штиле было сформулировано понятие «регматическая решетка», на которую распространялись основные (преобладающие) направления ее пространственного расположения: С–Ю, В–З, СЗ–ЮВ, СВ–ЮЗ. Закономерная ориентировка зон линеаментов по четырем сопряженным

системам относительно меридиана (двум ортогональным и двум диагональным) рассматривалась ими как первичная трещиноватость земной коры, к которой приспособляются более поздние тектонические структуры.

Развитие идей «регматической трещиноватости» продолжалось и в 50-е годы. Наиболее яркими последователями разрабатываемого подхода были Г.Н. Каттерфельд, Дж.Д. Муди и М.Хилл, Е.Н. Пермяков и др. Ими дополнительно было выделено помимо четырех основных систем, связанных с простиранием трещиноватости, еще 4 подобные системы, проявляющиеся на зональном и локальном уровнях. Эти авторы, пытаясь понять планетарный механизм закономерного образования таких систем, предполагали связь его проявления на поверхности с ротационными силами вращения Земли.

Г.Н. Каттерфельдом (1962) были разработаны основы «регматической» сети трещиноватости под действием ротационной гипотезы и сформулировано понятие «критических параллелей» на широтах  $35^\circ$ ,  $62^\circ$  и  $71^\circ$ . Вслед за ним И.И. Чебаненко (1977), используя результаты лабораторных экспериментов по влиянию вращения Земли на изменение ее напряженно-деформированного состояния, а также А.В. Долицкий и И.А. Кийко (1963), учитывая ее полюсное сжатие при вращении, стремятся обосновать физическую модель поля ротационных сил, приводящих к разноранговой системно-упорядоченной трещиноватости планеты. В 60–70 годы эти исследования по планетарной трещиноватости Земли продолжались, о чем свидетельствуют работы А.И. Суворова, К.Ф. Тяпкина, С.С. Шульца (старшего), А.Н. Ласточкина и др.

В связи с вышеизложенным образующаяся под действием полей напряжений «решетка» линеаментов (систем трещиноватости) отражает механическую анизотропию горных пород, избирательно проявляющуюся в результате приложенных тектонических воздействий.

Подобные представления прослеживаются в работе (Кац, Полетаев, Румянцев, 1986), в которой древнее заложение линеаментного каркаса Земли и его унаследованность определяются такими свойствами, как автономность, транзитность и консервативность, обуславливая его постоянное «омоложение». Под особенностью линеаментной тектоники, которая авторами условно названа «кинематичностью», понимается то, что составляющие линеаментного рисунка планеты часто имеют тождественную кинематику разрывных нарушений. При этом авторами не предлагается никаких тектонофизических моделей,

позволяющих объяснить данный тип линеаментов и их пространственную упорядоченность.

Использование различных тектонических концепций (фиксизм, мобилизм, движение литосферных плит) с целью обоснования линеаментных систем разного уровня, а также представлений о влиянии гравитационного воздействия Луны и Солнца (лунно-солнечные приливы) и ротационных сил Земли до сегодняшнего времени не привели к разработке тектонофизических или геоморфологических основ для формализации понятия «линеамент».

На наш взгляд, важным является то, что проявления линеаментов определяются разноуровневыми движениями (геодинамическими процессами), происходящими в литосфере и предопределяющими их унаследованный характер на земной поверхности, о чем свидетельствуют фундаментальные закономерности современной геодинамики разломных зон.

В данной статье мы не стремимся дать ответы на раскрытие глобальных закономерностей процесса формирования линеаментов, главными задачами является объяснение таких свойств линеаментов, как:

- унаследованное их развитие;
- нарушение пространственных закономерностей их простираения на региональном и локальном уровнях;
- их прерывистость (фрагментарность) в плане.

### **Современная геодинамика разломных зон – новый элемент линеаментного анализа**

Формирование тектонических структур пликативного и дизъюнктивного характера означает, что породы земной коры и осадочного чехла изначально должны быть подвержены воздействию глубинных геодинамических процессов, приводящих к пластическим деформациям или потере их прочностных свойств с последующим разрушением.

В работах (Кузьмин, 2000; 2002; 2004) представлен анализ существующих подходов – кинематического и силового для определения геодинамики как научной дисциплины. Важным является то, что деформация есть результат определенного движения. При этом непосредственной причиной деформации является именно движение, а не силы (или напряжения как силы, нормированные на площадь их приложения). Силы сами по себе еще не определяют деформаций, которые должны возникнуть.

Следовательно, объяснить происхождение деформаций – это значит объяснить происхождение тех движений, которые привели к изменению взаимного расположения отдельных частей тела.

В данной статье предлагается рассмотреть роль современной геодинамики разломных зон как нового элемента взаимосвязи глубинных и поверхностных процессов, а также их проявления на материалах дистанционного зондирования при анализе линеаментных систем.

Согласно традиционной точке зрения, современные движения земной поверхности платформенных асейсмичных областей характеризуются относительно слабыми скоростями до  $5\div 10$  мм в год, в отличие от орогенных, сейсмоактивных регионов, где скорости могут достигать величин значительно больших, чем 50 мм в год. Этот вывод следует из анализа карт современных вертикальных движений земной коры, построенных по данным повторных нивелирований больших территорий с интервалами между наблюдениями в десятки лет. На графиках, отражающих линейную (профильную) составляющую движений, эти градиентные участки имеют форму ступенеобразных кривых в полном соответствии с общепринятыми представлениями о медленных, дифференцированных вертикальных перемещениях смежных объемов среды (блоков земной коры) вдоль зон разломов под воздействием изменений регионального поля напряжений (В.А. Сидоров, Ю.О. Кузьмин, 1989 г.).

Подобная система взглядов господствовала в исследованиях по современной геодинамике до того момента, когда в середине шестидесятых годов XX века под эгидой Межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР была развернута обширная программа изучения современных движений земной коры на геодинамических полигонах различного целевого назначения. Результаты повторных наблюдений на этих полигонах с интервалами времени между повторениями в месяцы и годы показали наличие интенсивных (10–20 мм в год и более) локальных движений, которые имели пульсационный и короткопериодический характер. Это не явилось большой неожиданностью для специалистов, поскольку первые геодинамические полигоны закладывались в сейсмоактивных регионах.

Знаковым событием, разрушившим привычную парадигму унаследованного характера развития современных геодинамических процессов, явилась организация Министерством нефтяной промышленности СССР в начале семидесятых годов прошлого

века долгосрочной программы изучения современных движений земной коры в нефтегазоносных осадочных бассейнах. В качестве таких объектов были использованы территории крупных нефтегазоносных бассейнов древней докембрийской Русской платформы (Припятский прогиб, западное и северо-западное обрамления Прикаспийской впадины, Башкирский свод и Соликамская впадина), Западно-Сибирской плиты (Вартовский свод), предгорных и межгорных прогибов складчатых областей (Терско-Каспийский, Предгиссарский, Рионо-Куринский).

В результате комплексного сопоставительного анализа данных, полученных идентичными системами измерений (плотность пунктов наблюдений, точность и частота опроса измерений), в сейсмоактивных и асейсмичных регионах, были сформулированы следующие эмпирические обобщения (Кузьмин, 1996; Кузьмин, Жуков, 2004):

- интенсивные **локальные аномалии** вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности приурочены к зонам разломов различного типа и порядка. *Эти аномальные движения высокоамплитудны ( $50 \div 70$  мм/год), короткопериодичны ( $0,1 \div 1$  год), пространственно локализованы ( $0,1 \div 1$  км), обладают пульсационной и знакопеременной направленностью. Среднегодовые скорости для них чрезвычайно высоки и составляют величины порядка  $2 \div 7 \cdot 10^{-5}$ /год. Поэтому их следует определить как суперинтенсивные деформации (СД) земной поверхности в зонах разломов;*

- имеют место **устойчивые типы** локальных аномалий вертикальных движений земной поверхности в зонах разломов. При этом горизонтальные размеры ( $L$ )  $\gamma$ -аномалий составляют  $0,1 \div 2$  км,  $S$ -аномалий –  $5 \div 10$  км, а  $\beta$ -аномалий –  $10 \div 30$  км. В указанных выше работах приведены соотношения между амплитудой ( $\Delta h$ ) и протяженностью ( $L$ ) для каждого типа аномалий, связанные через масштабный коэффициент  $m = 10^{-6}$  (если амплитуда выражена в миллиметрах, то ширина аномалии – в километрах).

Установленные типы аномальных движений находятся в определенном соответствии с региональными типами напряженного состояния земной коры. В районах предгорных и межгорных прогибов (области сжимающих напряжений) доминируют  $\beta$ -аномалии, а в рифтовых областях (зоны растяжений) преобладают  $\gamma$ -аномалии. Аномалии типа  $S$  оказались крайне редким явлением для всех изученных регионов.

Оказалось, что основные пространственно-временные характеристики аномальных движений идентичны как для сейсмоактивных, так и для асейсмичных разломных зон.

При этом интенсивность деформационного процесса в разломах асейсмичных регионов выше, чем в сейсмоактивных.

На рис. 1 представлено площадное распределение деформационных аномалий на территории Припятской впадины. Общая площадь покрытия ее нивелирной сетью составляет 30000 км<sup>2</sup>. Среднее расстояние между нивелирными пунктами (показаны точками) – 250–300 м.

Из рис. 1 видно, что зоны аномальных деформаций представлены дискретными полосами широтного простирания, приуроченными к разломным зонам, каждая из которых состоит из набора активизированных фрагментов.

В центральной части Припятской впадины выделяется зона Речицкого разлома, в пределах которой идентифицировано наибольшее количество активизированных фрагментов.

На рис. 2 приведено положение Речицкого разлома (красная линия) и ниже детализация его пересечения нивелирными профилями и их номера. Оказалось, что из 26 пересечений только на 9 участках были выявлены аномальные деформации, которые продемонстрированы на графиках, под которыми приведена характеристика геологического разреза толщины осадочных отложений (желтый цвет), пород фундамента (красный цвет) и пространственное расположение разлома. Примечательно, что амплитуда и морфология аномальных смещений во многом идентичны. Из графиков видно, что величины среднегодовых скоростей варьируют в пределах от 10 мм в год до 20 мм в год. Морфологически смещения представляют собой узкие пикообразные просадки земной поверхности, имеющие ширину 0,5–1,0 км.

Необходимо отметить, что аномалии выявляются только в разломных зонах широтной и квазиширотной ориентации. В зонах разломов квазимеридиональной ориентировки аномальные деформации земной поверхности не обнаружены. Очевидно, что данная картина площадного распределения локальных аномалий отражает характер регионального напряженного состояния, а именно, горизонтальное квазимеридиональное растяжение Припятского палеорифта (Ю.О. Кузьмин, 2007, 2009 гг.).

Важной особенностью СД-процессов является пульсационный характер их проявлений во времени. Имеются многочисленные примеры, когда происходит перемежаемость периодов активизации и покоя (Кузьмин, 2013; 2014а). Таким образом, локальные просадки земной поверхности ( $\gamma$ -аномалии) в зонах разломов являются

довольно распространенным явлением, но только в том случае, когда измерения проводятся высокоточными геодезическими методами с повышенной пространственно-временной детальностью (Кузьмин, 2008; 2014б).

Вышеперечисленные закономерности (Кузьмин, 2011) позволяют сделать следующие выводы для обоснования свойств проявления линеаментов в структуре земной поверхности:

- разломы, перекрытые осадочными породами разной толщины, формируют на земной поверхности локальные просадки линейной формы, которые могут быть выражены бороздами стока, способствующими развитию приточных систем, активизации эрозионных процессов, карстовых форм и других экзогенных явлений;

- прерывистость линеаментных линий определяется неоднородным строением разломной зоны, в которой при определенных условиях активизируются только ее отдельные участки;

- периодическая активизация деформации в зоне разлома создает структурные и прочностные неоднородности в перекрывающем их комплексе пород за счет процесса их проседания, трассируя тем самым расположение зоны разлома на земной поверхности, характеризующее его унаследованное расположение в пространстве;

- выявленные натурными измерениями типы аномалий современных движений земной поверхности в разломных зонах позволяют на этапе дешифрирования руководствоваться их плановыми размерами.

### **Методические основы структурного дешифрирования линеаментных систем**

Определение закономерностей линеаментообразующих факторов на земной поверхности является, безусловно, ключевым звеном их геодинамической и геоморфологической интерпретации.

Необходимо отметить, что сегодняшнее формальное увлечение программными средствами для выделения систем линеаментов (рис. 3) отбрасывает данные исследования в 80-е годы, когда пространственная бессистемность и безмасштабность в выделении линейных объектов, занимающих весь объем исследуемой территории, были не способны создать целостной и взаимосвязанной картины геологических объектов и справедливо подвергались критике со стороны полевых геологов и тектонистов.

При выделении линеаментов методом структурного дешифрирования исследователь в большей степени опирается на выбранную им тектоническую концепцию,

а также на отдельные факты зрительных ассоциаций и собственную интуицию, чем на понимание природы формирования региональных и локальных структурных взаимосвязей пространственно-временных закономерностей в формировании линеаментно-блоковых систем. В связи с чем для проведения структурного дешифрирования в пределах орогенных и платформенных территорий на основе линеаментного анализа важно определить пространственные свойства выделяемых геологических объектов и характер их тектонических взаимосвязей. С точки зрения авторов статьи, для определения понятия «линеамент» исходным положением должна быть картина геологической реальности, которая может быть определена через понимание геологического объекта как объекта исторического, на основе конкретной естественно-исторической системы, выступающей в качестве базисной. При этом необходимым образом должна быть осмыслена проблема уровней организации этих объектов.

Исходя из этих представлений, под *линеаментами* понимаются *спрямленные системно-упорядоченные элементы в структуре земной поверхности, формирующиеся за счет градиентных зон поля напряженно-деформированного состояния (НДС) под действием разноранговых геодинамических процессов. В их пределах могут формироваться элементы пликативной структуры (складки и поднятия), а при превышении уровня порога прочности геоматериалов – зоны отрывных и сдвиговых деформаций (флексуры, разломы, зоны повышенной трещиноватости и т.п.)* (Никонов, 2003).

Поэтому отличительной особенностью применяемой методики структурного дешифрирования космических снимков от методических подходов авторов работ, приведенных во введении данной статьи, является выявление не отдельных, взаимно независимых и хаотично распределенных линеаментов, а закономерно упорядоченных ранжированных систем, отражающих структурный каркас линеаментов в поле НДС в породах фундамента и осадочного чехла (Кравцов, Никонов, 1996).

Необходимо отметить, что к изменению ориентации разломов приводят деформации, реализующиеся с разными скоростями при воздействии разномасштабных геодинамических процессов, которые характеризуются периодами (циклами) повторной активизации (Никонов, 2011; 2012).

Поэтому на начальной стадии проведения структурного дешифрирования должны использоваться снимки земной поверхности более мелкого масштаба (М: 1:500000–



1:1000000), на которых проявляются региональные структурные особенности территории (Скарятин, 1973) и их пространственная ориентация. На примере космического снимка, где представлена территория центральной части Русской (Восточно-Европейской) платформы юго-западного крыла Московской синеклизы и северо-восточного склона Воронежской антеклизы (рис. 4), в ее центральной части (рис. 4а, б) расположено Калужское локальное поднятие, для которого проводились исследования по выявлению разломных зон в породах осадочного чехла методом структурного дешифрирования.

При переходе от регионального масштаба к зональному и далее к локальному (М: 1:1000000–1:200000, 1:100000–1:25000) строгость фиксации размерностей и ориентировок линеаментов при структурном дешифрировании претерпевает определенные искажения за счет влияния локальных полей деформаций. Тем не менее, изначально заданная системная направленность (принцип от «общего к частному») структурных линий в процессе дешифрирования позволяет выдержать целостность и единство модели взаимосвязанных геодинамических процессов и формируемых ими блоковых структур на разных уровнях генерализации (Никонов, 2006).

Поэтому, при выделении линеаментов для решения задач структурной геологии на базовых масштабных уровнях не должно выделяться более двух рангов систем линеаментов. Переход на следующий масштабный уровень осуществляется переносом выявленных линеаментных систем с мелкого масштаба на более крупный и выполнением последующего дешифрирования по структурно-геоморфологическим индикаторам.

К характерным индикационным признакам выявления линеаментов относятся: параллельный рисунок гидросети (в большей степени характерен для диагональной системы линеаментов); коленообразные изгибы речных долин, часто расположенные на одной прямой; резкие расширения (сужения) поймы, часто в сочетании с коленообразными изгибами русла; участки перехватов верхних звеньев водотоков и резкой смены степени расчлененности поверхности междуречий, расположенные на одной прямой характерной азимутальной ориентировки; прямолинейные участки смены степени дренированности озерно-болотных комплексов; протяженные, строго ориентированные береговые линии крупных озерных котловин, линейно-вытянутые цепочки озер, часто удлиненной и неправильной формы; зоны линейно-грядового и линейно-западинного микрорельефа и др.

К индикационным признакам также относится ширина зоны линеаментов, определенная на основании типов аномалий современных движений в разломных зонах. Данный признак дает возможность при переходе с мелкого масштаба на более крупный сохранять каркас ранжированных структурных зон (А.И. Никонов, 2014 г.).

Для распознавания активизированных элементов разломной зоны в пределах разных ландшафтных условий при обработке материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) методами цветотонной фильтрации важно понимать, как быстро могут изменяться условия отражения в пределах данного элемента ландшафта.

Предположим, что локальные деформации на земной поверхности в зонах разломов должны оказывать воздействие на изменение морфологических особенностей земной поверхности и, как следствие, ландшафтных условий. С этой целью была проведена оценка параметров углов наклона земной поверхности при образовании локальных просадок и их влияния на формирование ложбин стока или эрозионных борозд, изменяющих режим влажности почвенных систем. В табл. 1 (Никонов, 2013а, б) приведены обобщенные значения ширины и глубины локальных просадок над разломными зонами, которые выявлены на основании многочисленных данных повторного нивелирования.

Таблица 1

**Зависимость углов наклона земной поверхности от параметров зоны разлома**

Ширина локальной просадки на земной поверхности, D (м)	Середина расстояния ширины разломной зоны $d = D/2$ (м)	Глубина локальной просадки земной поверхности, h (м)	Относительная деформация горных пород в зоне разлома, (h/d)	Угол наклона земной поверхности в зоне разлома, $\alpha$ ° (ГМС)	Схема обозначений угла и катетов треугольника при образовании локальной просадки земной поверхности над зоной разлома
1500	750	0,1	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,008 (0° 0' 28")	
1500	750	0,2	$2,6 \cdot 10^{-4}$	0.015 (0° 0' 55")	
1500	750	0,3	$4,0 \cdot 10^{-4}$	0.023 (0° 1' 23")	
500	250	0,1	$4,0 \cdot 10^{-4}$	0.023 (0° 1' 23")	
500	250	0,2	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0,046 (0° 2' 45")	
500	250	0,3	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0.069 (0° 4' 8")	
300	150	0,1	$6,7 \cdot 10^{-4}$	0,038 (0° 2' 18")	
300	150	0,2	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,076 (0° 4' 35")	
300	150	0,3	$2 \cdot 10^{-3}$	0,115 (0° 6' 53")	

Из данной таблицы видно, что углы наклона земной поверхности ( $\alpha$ ) над разломной зоной могут изменяться в зависимости от ее ширины и величины осадки от 0,008 до 0,115 градуса. Данные величины углов наклона в пределах платформенных территорий могут стать причиной формирования эрозионных борозд, а также первопричиной ложбин стока. Учитывая, что в табл. 1 приводятся углы наклона земной поверхности, которые способны образоваться за период 2 года, то за 10–100 лет в пределах платформенных территорий они могут достигнуть максимальных величин от  $0,5^\circ$  до  $5^\circ$ , что является важным фактором развития опасных экзогенных процессов.

Необходимо отметить, что уровень относительной деформации в горных породах в центральной части  $\gamma$ -аномалий (см. табл. 1) составляет от  $10^{-4}$  до  $10^{-3}$ . Уровень  $10^{-4}$  является порогом прочности большинства геоматериалов. Следовательно, в выявленных аномальных зонах происходит разупрочнение пород и дополнительное воздействие на них агрессивных флюидов. Все эти процессы способны ускорить влияние экзогенных факторов, приводящих к активизации эрозионных и карстообразовательных процессов, изменяющих современные ландшафтные условия. Поэтому их необходимо учитывать при проведении геодинамического мониторинга (Кузьмин, Никонов, 2002; Кузьмин, Никонов, Лукьянов, Ярыгин, 2010) особо ответственных объектов (например, в нефтегазовой промышленности).

Выявленные параметры уклонов способны создавать условия быстрого изменения биоценозов в пределах зон локальных просадок земной поверхности, отличных от участков, примыкающих к ним. В их пределах будут изменяться спектры отражения от земной поверхности, что является индикаторными характеристиками для понимания формирования образов на материалах ДЗЗ. Так как рост и развитие растений непосредственно зависят от условий освещенности, температуры, влажности, плодородия и газового режима почв на данной территории, это позволяет научно обосновать чувствительность растительных сообществ, как элементов дистанционной измерительной системы, способных к быстрой реакции на внешние и внутренние воздействия геосистемы.

### **Выводы**

Исходя из вышеизложенного можно полагать, что проявление на материалах ДЗЗ линеаментов определяется активизацией или развитием экзогенных процессов, влияющих на изменение состава и свойств компонентов ландшафта, за счет современных

геодинамических процессов в самих разломных зонах, приводящих к изменению отражающих характеристик поверхности.

Линеаменты глобального и регионального уровней могут иметь другую природу «проявления» на материалах ДЗЗ, но, несомненно, они также отражают разломно-блоковый характер тектонических структур типа рифтов, грабенов и глубинных разломов, движения по которым формируются на геологических временах.

Пример, приведенный на рис. 2, показывает, что современная активизация разломной зоны в плане происходит не по всей ее длине, а только на отдельных локальных фрагментах разлома. Поэтому чаще всего разломная зона при ее прослеживании на материалах ДЗЗ методом линеаментного анализа проявляется в виде отдельных активизированных элементов.

Можно полагать, что СД-процессы в зонах разломов имели место на всем протяжении геологической истории разломных структур. Являясь одним из доминирующих механизмов рельефообразования, эти деформационные процессы оказываются унаследованными по пространству и не унаследованными во времени за счет пульсационной активизации локального напряженно-деформированного состояния разломных зон (Никонов, Тупысев, Шаповалова, Юрова, 2014; Кузьмин, Никонов, Шаповалова, 2016). Это, в свою очередь, приводит к инверсии и переориентировке направлений разломных зон, активных в данный момент времени.

Использование данных геодезических наблюдений о пространственных размерах аномалий (структурный ранг) современных движений земной поверхности, прерывистом характере их проявления в разломных зонах позволило получить новую физическую основу для методики дешифрирования линеаментов на зональном и локальном уровнях.

Данные результаты заслуживают особого внимания, так как позволяют предложить принципиально новый подход к изучению формирования и «проявления» линеаментных систем на основе современной геодинамики разломных зон в структуре литосферы. Процессы современной геодинамики разломных зон способны оказывать интенсивное воздействие на земную поверхность на современном этапе.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Долицкий А.В., Кийко И.А.* О причинах деформаций земной коры // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 291–311.

*Каттерфельд Г.Н.* Лик Земли и его происхождение. М.: Наука, 1962. 152 с.

*Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф.* Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.

*Копылов И.С.* Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследованиям // Электрон. журн. «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 341–351. – Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>

*Кравцов В.В., Никонов А.И.* Системно-иерархическая структура полей напряжений и ее отражение на аэрокосмических снимках на примере Самотлорского месторождения (Черногорская площадь) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 1996. № 8–9. С. 18–23.

*Кузьмин Ю.О.* Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике // Физика Земли. 2014а. № 5. С. 51–64.

*Кузьмин Ю.О.* Проблемные вопросы изучения деформационных процессов в современной геодинамике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 3. С. 98–107.

*Кузьмин Ю.О.* Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон // Вестник отделения наук о Земле РАН. 2002. № 1(20). 27 с.

*Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика разломных зон // Физика Земли. 2004. № 10. С. 95–111.

*Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика разломных зон: разломообразование в реальном масштабе времени // Geodynamics & Tectonophysics. 2014б. Т. 5. № 2. С. 401–443.

*Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика разломов и парадоксы скоростей деформаций // Физика Земли. 2013. № 5. С. 28–46.

*Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика разломов и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса // Геология, геофизика и разведка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2007. № 1. С. 33–40.

*Кузьмин Ю.О.* Современное геодинамическое состояние недр // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. Т.6. С. 55–64.

*Кузьмин Ю.О.* Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр. 1996. № 4. С. 43–53.

*Кузьмин Ю.О.* Тектонофизика и современная геодинамика // Физика Земли. 2011. № 11. С. 44–59.

*Кузьмин Ю.О., Жуков В.С.* Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 264 с.

*Кузьмин Ю.О., Никонов А.И.* Геодинамический мониторинг объектов нефтегазового комплекса // Фундаментальный базис новых технологий в нефтяной и газовой промышленности: Сб. ст. Вып. 2. М.: ГЕОС, 2002. С. 427–433.

*Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Лукьянов О.В., Ярыгин Г.А.* Оценка геодинамической опасности объектов инфраструктуры Бованенковского НГКМ // Электрон. журн. «Георесурсы, геознергетика, геополитика». 2010. № 2(2). 10 с. – Режим доступа: <http://oilgasjournal.ru>

*Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Шаповалова Е.С.* Связь современной геодинамики разломов с плановыми трансформациями долинных комплексов рек платформенных территорий // Путь науки: Международный научный журнал. 2016, № 5(27). Том II. С. 70–74.

*Никонов А.И.* Научно-методические основы оценки геозкологической трансформации ландшафтов при освоении территорий нефтегазовых комплексов // Электрон. журн. «Георесурсы, геознергетика, геополитика». 2013а. № 1(7). 28 с. – Режим доступа: <http://oilgasjournal.ru>

*Никонов А.И.* Роль геодинамических процессов в формировании анизотропии физических свойств пород локальных поднятий. // Геология, геофизика и разведка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2006. № 12. С. 23–33.

*Никонов А.И.* Роль геодинамических процессов в функционировании подземных хранилищ газа (на примере Щелковского и Касимовского подземных хранилищ): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2003. 25 с.

*Никонов А.И.* Роль рифтогенеза в формировании месторождений углеводородов и их структурной неоднородности // Вести газовой науки: Научно-технический сборник. 2012. № 1(9). С. 101–112.

*Никонов А.И.* Современные подходы к решению вопросов эколого-промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса // Территория «Нефтегаз». 2013б. № 8. С. 86–93.

*Никонов А.И.* Тектонофизические аспекты структурного дешифрирования линейных систем // Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы Второй молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2011. Т. 2. С. 78–93.

*Никонов А.И., Тупышев М.К., Шаповалова Е.С., Юрова М.П.* Геодинамические факторы оценки техногенного воздействия на ландшафт при разработке нефтегазовых месторождений // Нефтепромысловое дело. 2014. № 12. С. 51–56.

*Скарятин В.Д.* Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации) // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1973. № 7. С. 24–31.

*Солдаткин С.Г.* Комплекс исследований для создания гидродинамической модели эксплуатации Калужского подземного хранилища газа // Георесурсы. 2010. № 4(36). С. 24–25.

*Чебаненко И.И.* Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры. Киев: Наук. думка, 1977. 81 с.

#### REFERENCES

*Dolitskiy A.V., Kiyko I.A.* O prichinakh deformatsiy zemnoy kory // Problemy planetarnoy geologii. M.: Gosgeoltekhizdat, 1963. S. 291–311.

*Katterfel'd G.N.* Lik Zemli i ego proiskhozhdenie. M.: Nauka, 1962. 152 s.

*Kats Ya.G., Poletaev A.I., Rumyantseva E.F.* Osnovy lineamentnoy tektoniki. M.: Nedra, 1986. 140 s.

*Kopylov I.S.* Neotektonicheskie i geodinamicheskie osobennosti stroeniya Timano-Pechorskoy plity po dannym aerokosmogeologicheskikh issledovaniyam // Elektron. zhurn. «Neftegazovoe delo». 2012. № 6. S. 341–351. – Rezhim dostupa: <http://www.ogbus.ru>

*Kravtsov V.V., Nikonov A.I.* Sistemno-ierarkhicheskaya struktura poley napryazheniy i ee otrazhenie na aerokosmicheskikh snimkakh na primere Samotlorskogo mestorozhdeniya (Chernogorskaya ploshchad') // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 1996. № 8–9. S. 18–23.

*Kuz'min Yu.O.* Aktual'nye problemy identifikatsii rezul'tatov nablyudeniya v sovremennoy geodinamike // Fizika Zemli. 2014a. № 5. S. 51–64.

*Kuz'min Yu.O.* Problemnnye voprosy izucheniya deformatsionnykh protsessov v sovremennoy geodinamike // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 2008. № 3. S. 98–107.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennaya anomal'naya geodinamika aseismichnykh razlomnykh zon // Vestnik otdeleniya nauk o Zemle RAN. 2002. № 1(20). 27 s.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennaya geodinamika razlomnykh zon // Fizika Zemli. 2004. № 10. S. 95–111.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennaya geodinamika razlomnykh zon: razlomoobrazovanie v real'nom masshtabe vremeni // Geodynamics & Tectonophysics. 2014b. T. 5. № 2. S. 401–443.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennaya geodinamika razlomov i paradoksy skorostey deformatsiy // Fizika Zemli. 2013. № 5. S. 28–46.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennaya geodinamika razlomov i ekologo-promyshlennaya bezopasnost' ob"ektov neftegazovogo kompleksa // Geologiya, geofizika i razvedka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. M.: VNIIOENG, 2007. № 1. S. 33–40.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennoe geodinamicheskoe sostoyanie neдр // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 2000. T.6. S. 55–64.

*Kuz'min Yu.O.* Sovremennye superintensivnye deformatsii zemnoy poverkhnosti v zonakh platformnykh razlomov // Geologicheskoe izuchenie i ispol'zovanie neдр. 1996. № 4. S. 43–53.

*Kuz'min Yu.O.* Tektonofizika i sovremennaya geodinamika // Fizika Zemli. 2011. № 11. S. 44–59.

*Kuz'min Yu.O., Zhukov V.S.* Sovremennaya geodinamika i variatsii fizicheskikh svoystv gornyykh porod. M.: Izd-vo MGGU, 2004. 264 s.

*Kuz'min Yu.O., Nikonov A.I.* Geodinamicheskii monitoring ob"ektov neftegazovogo kompleksa // Fundamental'nyy bazis novyykh tekhnologiy v neftyanoy i gazovoy promyshlennosti: Sb. st. Vyp. 2. M.: GEOS, 2002. S. 427–433.

*Kuz'min Yu.O., Nikonov A.I., Luk'yanov O.V., Yarygin G.A.* Otsenka geodinamicheskoy opasnosti ob"ektov infrastruktury Bovanenkovskogo NGKM // Elektron. zhurn. «Georesursy, geoenergetika, geopolitika». 2010. № 2(2). 10 s. – Rezhim dostupa: <http://oilgasjournal.ru>

*Kuz'min Yu.O., Nikonov A.I., Shapovalova E.S.* Svyaz' sovremennoy geodinamiki razlomov s planovymi transformatsiyami dolinnykh kompleksov rek platformnykh territoriy // Put' nauki: Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2016, № 5(27). Tom II. S. 70–74.



*Nikonov A.I.* Nauchno-metodicheskie osnovy otsenki geoekologicheskoy transformatsii landshaftov pri osvoenii territoriy neftegazovykh kompleksov // Elektron. zhurn. «Georesursy, geoenergetika, geopolitika». 2013a. № 1(7). 28 s. – Rezhim dostupa: <http://oilgasjournal.ru>

*Nikonov A.I.* Rol' geodinamicheskikh protsessov v formirovani anizotropii fizicheskikh svoystv porod lokal'nykh podnyatiy. // Geologiya, geofizika i razvedka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. M.: VNIIOENG, 2006. № 12. S. 23–33.

*Nikonov A.I.* Rol' geodinamicheskikh protsessov v funktsionirovani podzemnykh khranilishch gaza (na primere Shchelkovskogo i Kasimovskogo podzemnykh khranilishch): Avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. M., 2003. 25 s.

*Nikonov A.I.* Rol' riftogeneza v formirovani mestorozhdeniy uglevodorodov i ikh strukturnoy neodnorodnosti // Vesti gazovoy nauki: Nauchno-tekhnicheskii sbornik. 2012. № 1(9). S. 101–112.

*Nikonov A.I.* Sovremennye podkhody k resheniyu voprosov ekologo-promyshlennoy bezopasnosti ob"ektov neftegazovogo kompleksa // Territoriya «Neftegaz». 2013b. № 8. S. 86–93.

*Nikonov A.I.* Tektonofizicheskie aspekty strukturnogo deshifirovaniya lineamentnykh sistem // Sovremennaya tektonofizika. Metody i rezul'taty: Materialy Vtoroy molodezhnoy shkoly-seminara. M.: IFZ, 2011. T. 2. S. 78–93.

*Nikonov A.I., Tupysev M.K., Shapovalova E.S., Yurova M.P.* Geodinamicheskie faktory otsenki tekhnogennoy vozdeystviya na landshaft pri razrabotke neftegazovykh mestorozhdeniy // Neftepromyslovoe delo. 2014. № 12. S. 51–56.

*Skaryatin V.D.* Ob izuchenii razryvnoy tektoniki po kompleksu raznomasshtabnykh kosmosnimkov Zemli (metod mnogostupenchatoy generalizatsii) // Izv. vuzov. Ser. Geologiya i razvedka. 1973. № 7. S. 24–31.

*Soldatkin C.G.* Kompleks issledovaniy dlya sozdaniya gidrodinamicheskoy modeli ekspluatatsii Kaluzhskogo podzemnogo khranilishcha gaza // Georesursy. 2010. № 4(36). S. 24–25.

*Chebanenko I.I.* Teoreticheskie aspekty tektonicheskoy delimosti zemnoy kory. Kiev: Nauk. dumka, 1977. 81 s.

ПРИЛОЖЕНИЕ

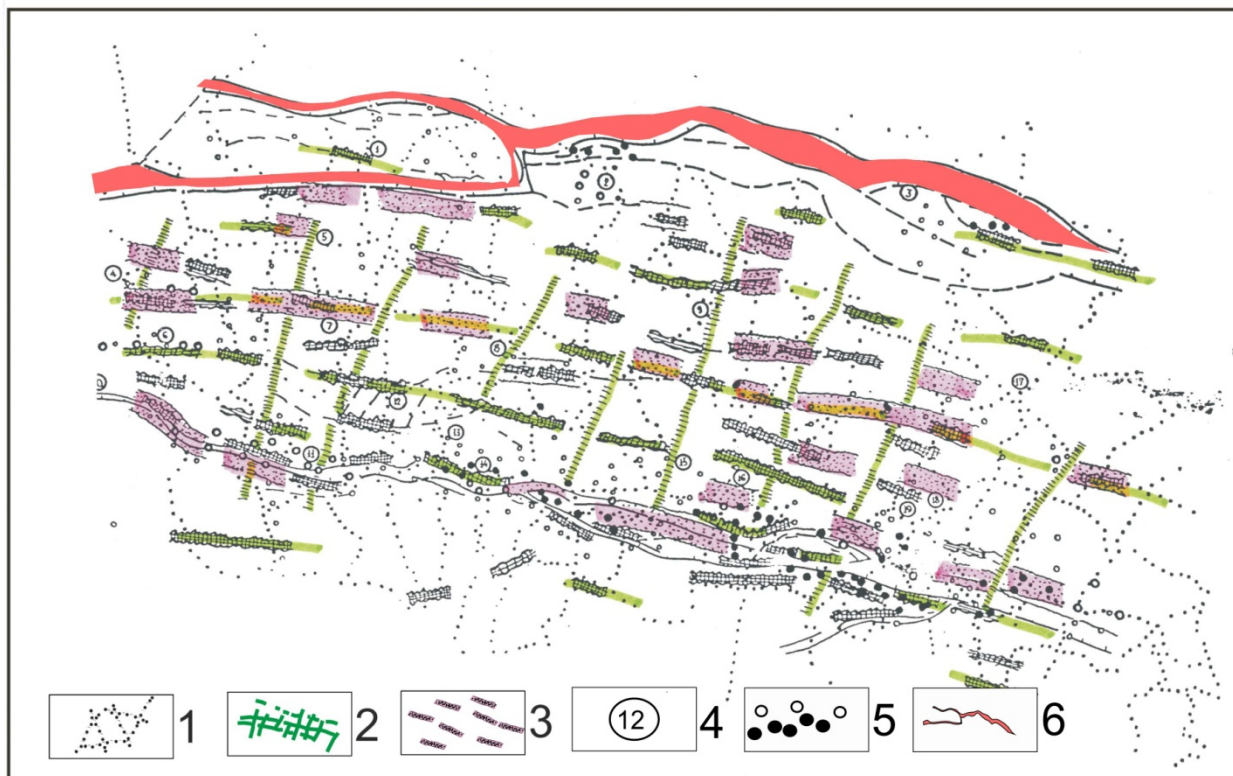


Рис. 1. Площадное распределение аномалий современных вертикальных движений земной поверхности в пределах Припятской впадины: 1 – профили и пункты повторного нивелирования; 2 – зоны разломов; 3 – активизированные фрагменты разломной зоны (аномалии типа  $\gamma$ ); 4 – номер геодезического профиля; 5 – промышленные скважины; 6 – северный борт Припятской впадины

## Вертикальные смещения земной поверхности в зоне Речицкого разлома

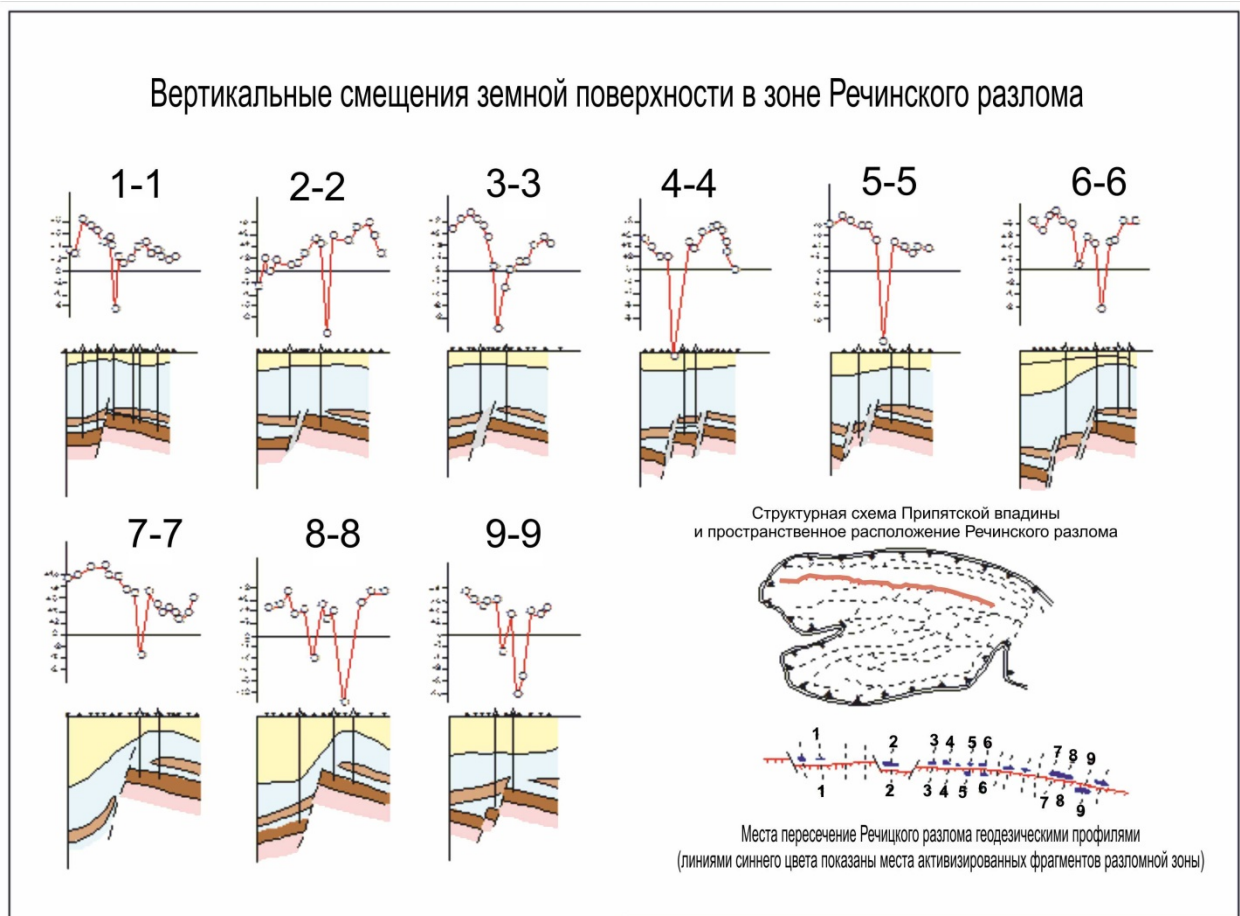


Рис. 2. Пример современной активности Речицкого регионального разлома в фундаменте и осадочном чехле по результатам повторного нивелирования (интервал времени между циклами нивелирования около одного года)

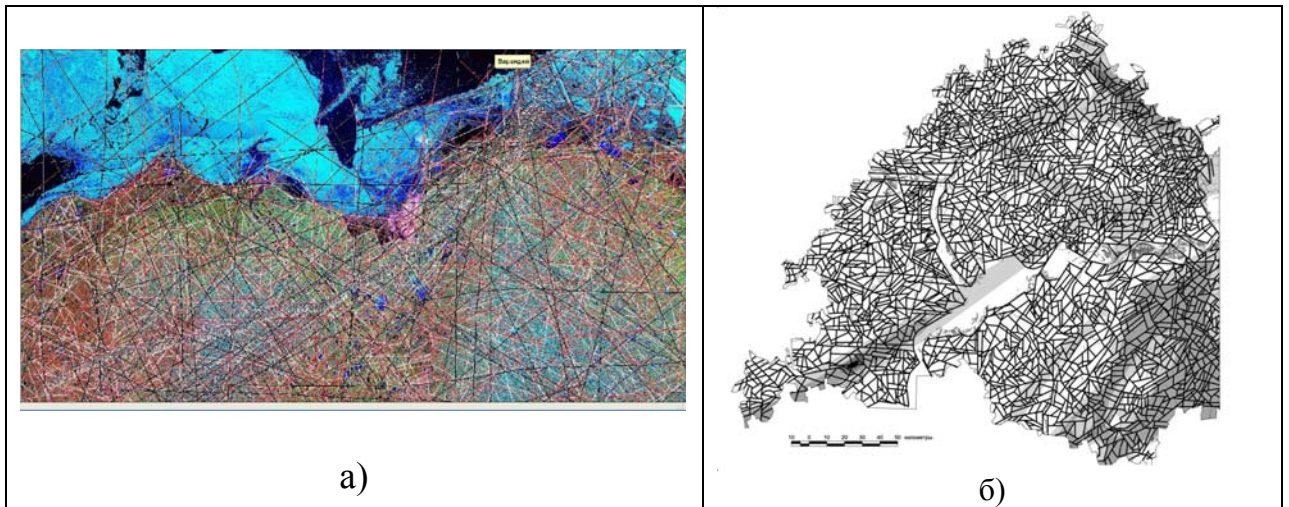


Рис. 3. Результаты регионального дешифрирование линеаментов: а) северной части Тимано-Печорской плиты (Копылов, 2012); б) схема линеаментов Ромашкинского месторождения (по данным В.А. Зайцева, Л.В. Паниной, МГУ им. М.В. Ломоносова «Неотектоника западного Татарстана». 2010)



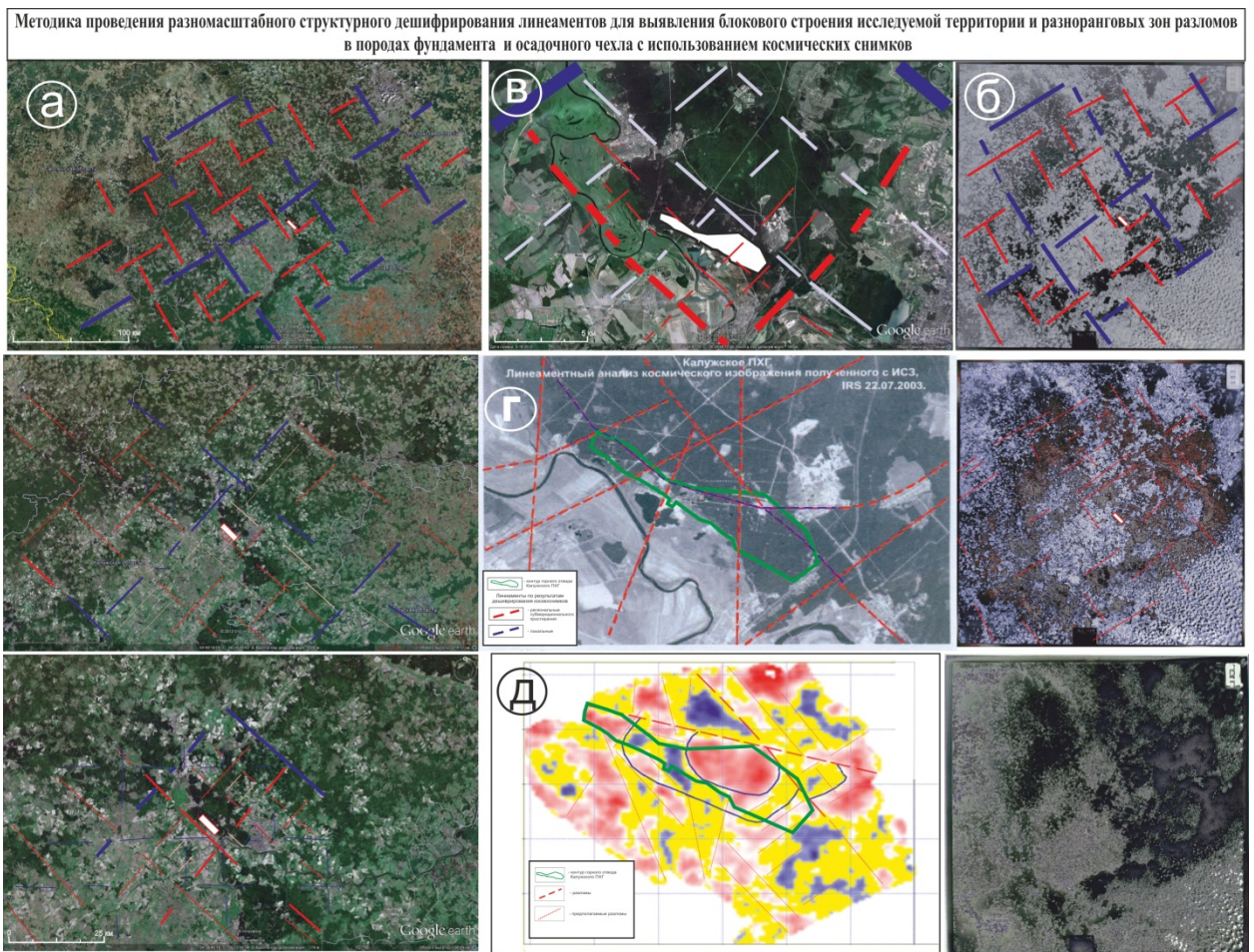


Рис. 4. Этапы разномасштабного структурного дешифрирования линеаментов диагональной системы с целью выявления разноранговых зон разломов на основе блокового тектонического строения исследуемой территории по принципу от «общего к частному»: а – разномасштабные снимки из системы Google Earth (М: 1:1000000–1:250000) с применением цветотоновой обработки (фильтрация); б – спектрональные снимки масштаба 1:500 000; в – результат структурного дешифрирования территории расположения Калужского локального поднятия с выделением 4-х рангов осей линеаментов; г – линеаменты (разломы), выделенные с использованием программы WinLessa 2.1 для планирования сейсмических исследований 3D на территории Калужского ПХГ (Солдаткин, 2010); д – срез сейсмического куба 3D на уровне гдовского горизонта редкинской свиты валдайского комплекса отложений с выявленными зонами разломов