

Технология дистанционного картирования очаговых активизационных процессов в земной коре восточной части Балтийского щита

Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В

*Институт дистанционных исследований окружающей среды
117105 Москва, Варшавское шоссе,4, i-dios@yandex.ru (095) 952-07-40*



Технологическая схема оценки перспектив алмазности любых территорий, применяемая нами с использованием дистанционной информации, основана на:

- всестороннем изучении форм проявленности признаков алмазных таксонов на эталонных площадях в материалах космического зондирования разного масштаба и вида;
- создание иерархического ряда прогнозно-поисковых моделей рудных таксонов, включающих только устойчиво встречающиеся в пределах нескольких эталонных площадей признаков;
- экспертной оценке новых территорий путём последовательной локализации перспективных участков лишь в области действия комплекса благоприятных факторов предшествующего ранга.

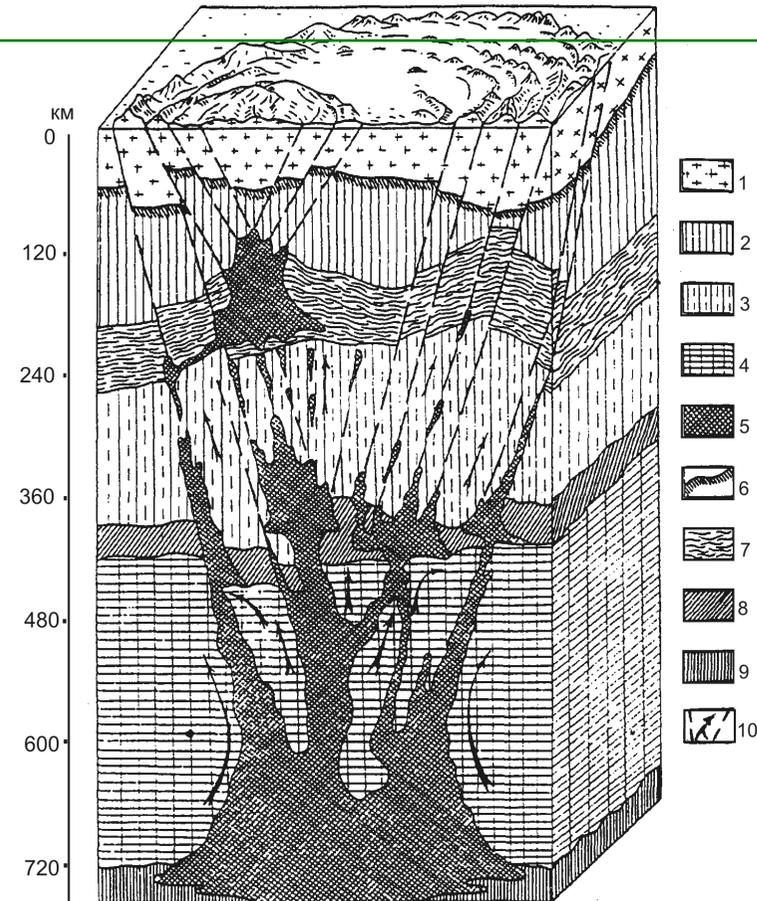
К очевидным её преимуществам относятся возможности:

- использовать доступный материал на любой участок планеты;
- выявлять на ранних стадиях с достаточно высокой степенью достоверности многие факторы контроля искомого оруденения;
- представлять иерархическую соподчинённость структурных элементов, влияющих на локализацию рудных таксонов;
- формировать модели рудных таксонов на основе совокупности факторов, устанавливаемых при анализе дистанционных материалов;
- локализовать последовательно перспективные площади на базе дистанционных материалов в всё повышающейся детальности.

Разрез скрыто плутонической региональной ОМС (геокона) и её дочерней морфоструктуры (по В.В. Соловьёву, 1978 с дополнениями О.П. Сторожука, 2003)

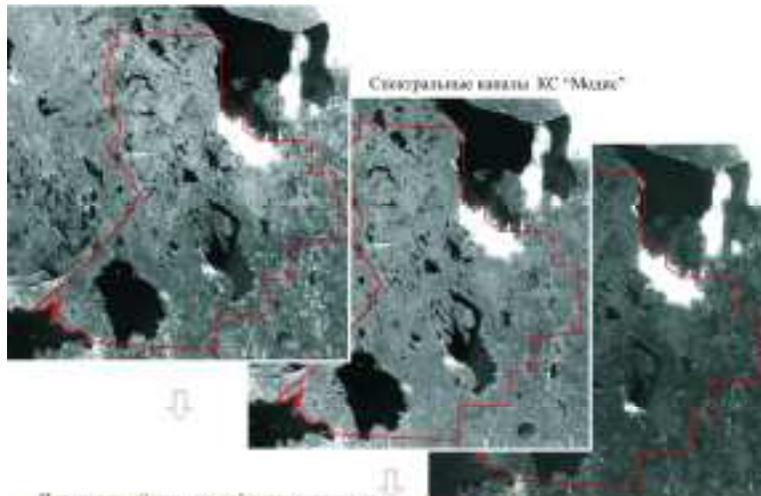
Современная модель таксона в ранге **«район кимберлитового магматизма»** включает астеносферу, литосферу, земную кору, мантийные диапиры, корово-мантийные разломы, осадочный чехол, флюидно-магматические колонны с интрузивными телами, на делёнными параметрами намагниченности, плотности, скорости прохождения сейсмических волн, электрического сопротивления [1, 2, 3]. Это пространство отличается от окружающей среды, прежде всего, в нижних и средних частях земной коры. В приповерхностных же частях, в связи с расщеплением колонн, традиционными геолого-геофизическими методами, контуры районов, как правило, не фиксируется.

Для моделей ранга **«кимберлитовое поле»** обсуждается комплекс геолого-геофизических признаков, выявление которого возможно только при детальном исследовании, что практически нереально на новых площадях. Актуальная задача – усилить комплекс материалами, которые позволяют фиксировать разноглубинные структуры, контролирующие процесс, и доступны для любых частей планеты. Очевидно, что космические съёмки наиболее подходят для этих целей.

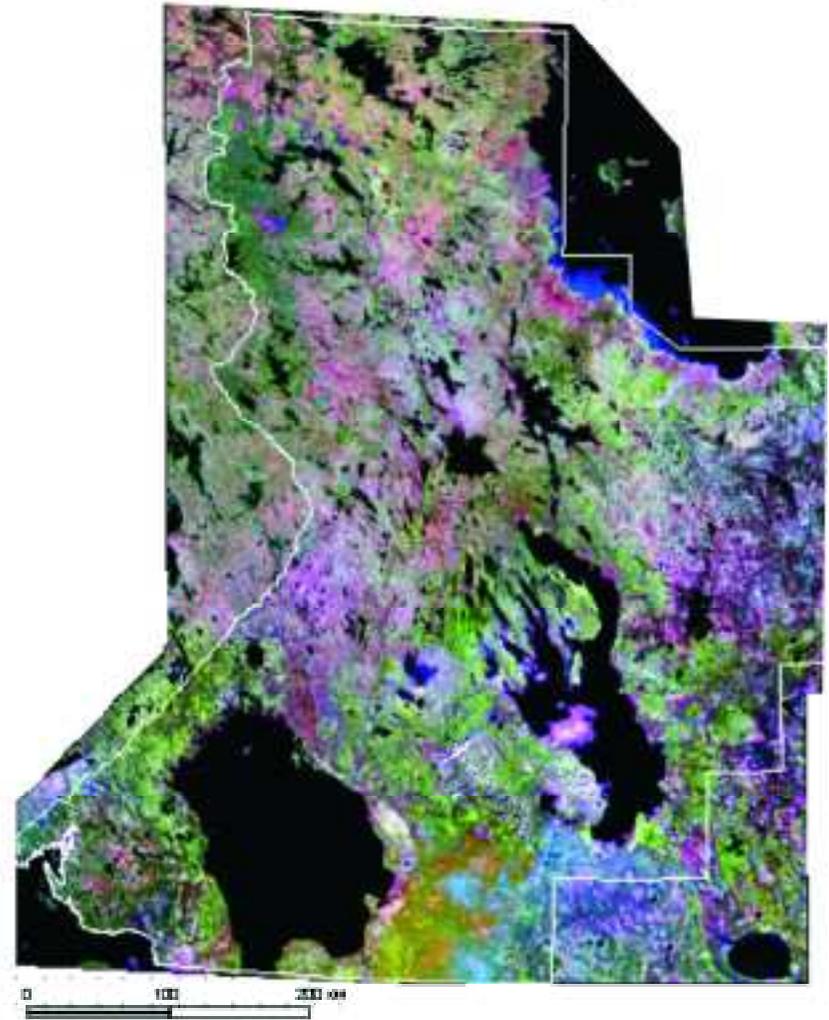
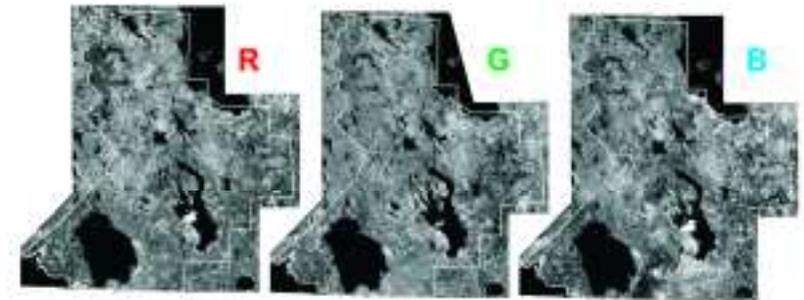


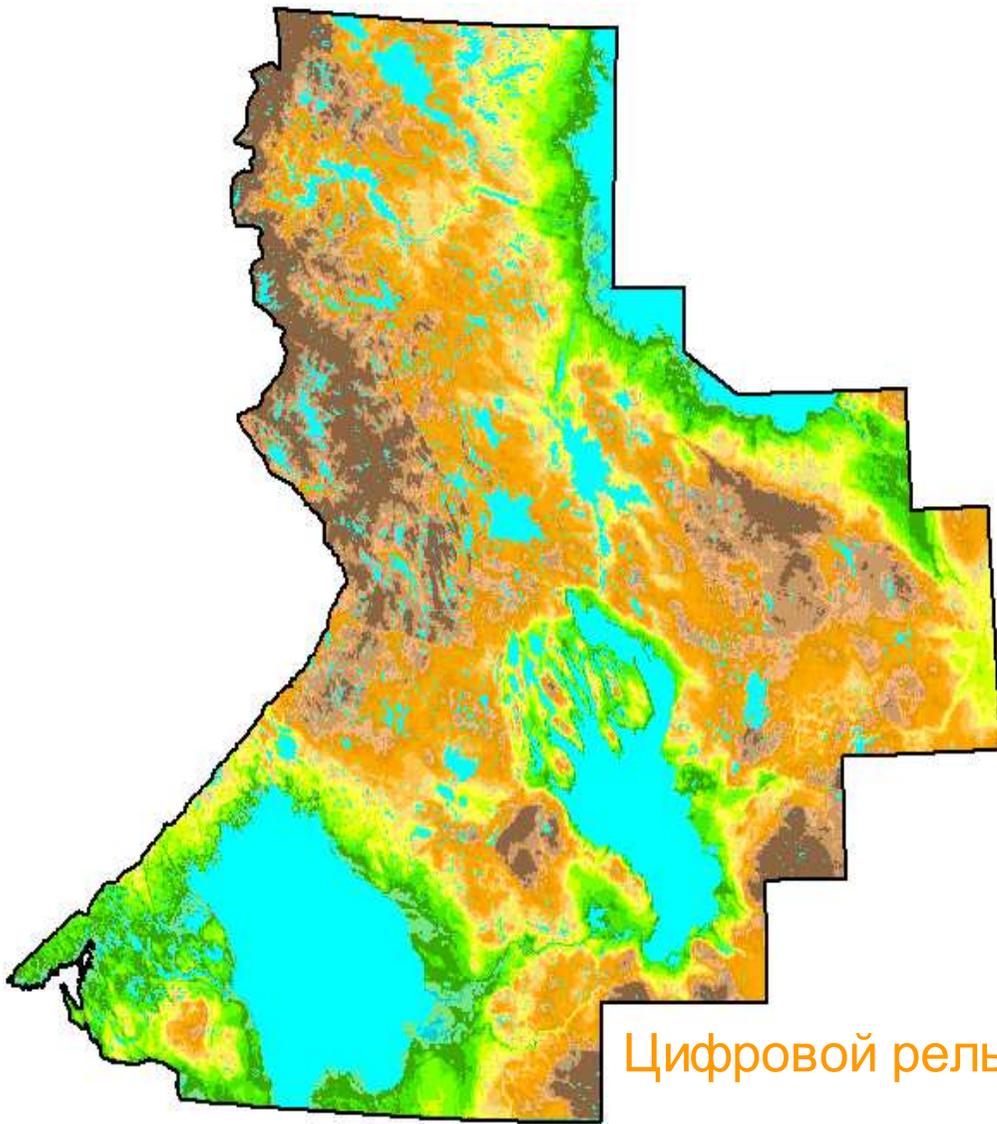
1 – земная кора; 2 – верхние твёрдые слои мантии; 3 – верхняя мантия; 4 – средняя мантия; 5 – мантийные дифференциаты; 6 – граница Мохоровичича; 7 – астеносфера; 8 – 400-километровая зона геофизического раздела; 9 – 700-километровая зона геофизического раздела; 10 – направления движения магмы и растворов в тектоническом конусе растяжения.

Визуализировать разноточинные очаговые энергетические структуры наиболее рационально с помощью материалов космического зондирования разного вида, масштаба и разрешения. Наиболее доступны в настоящее время зональные космические снимки «Ресурс», «Modis», «Landsat-7», «Spot» с разрешением от 500 до 15 м/пиксел, а также **цифровые версии рельефа и речной сети**, получаемые с помощью радаров.

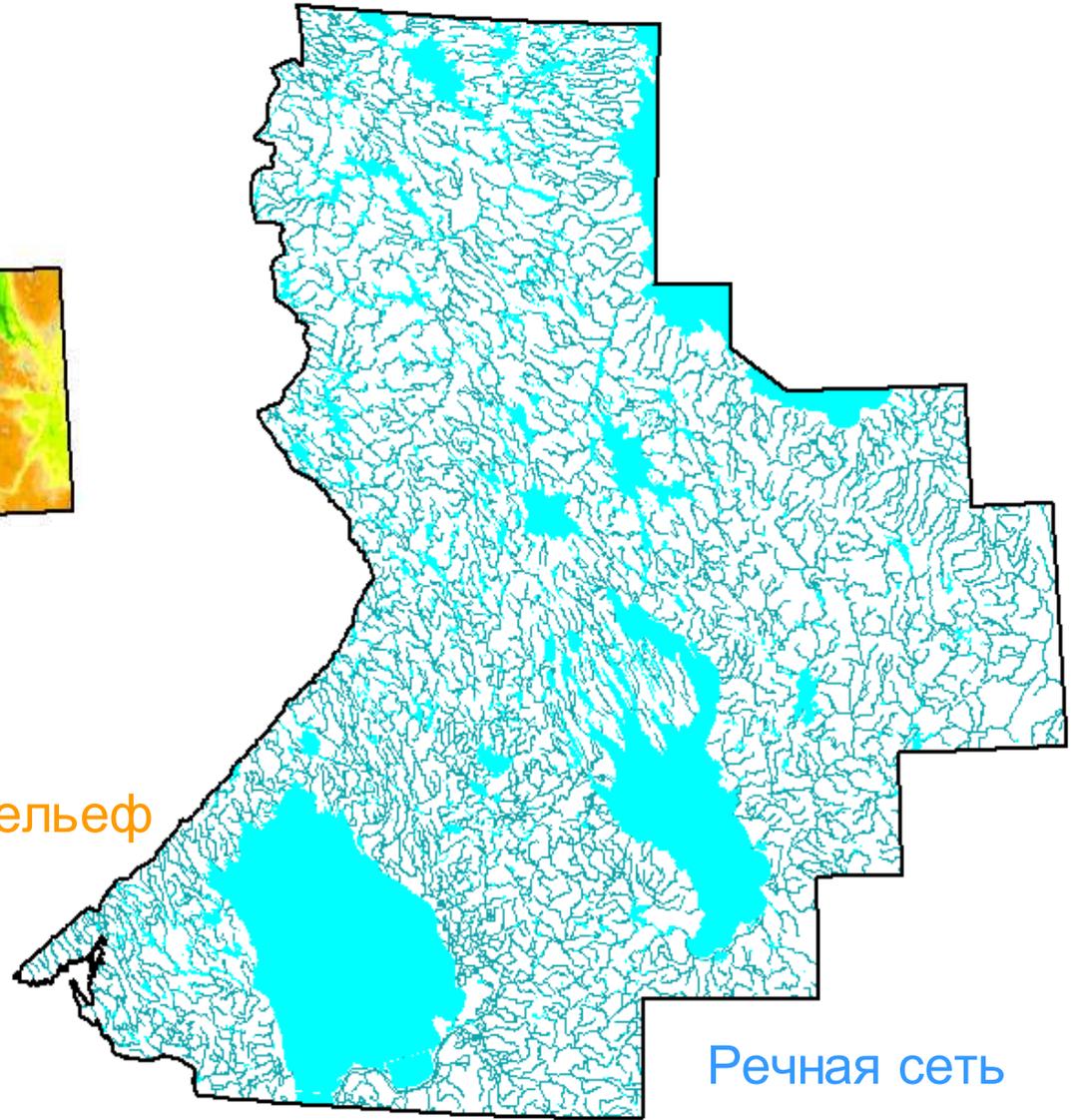


MODIS



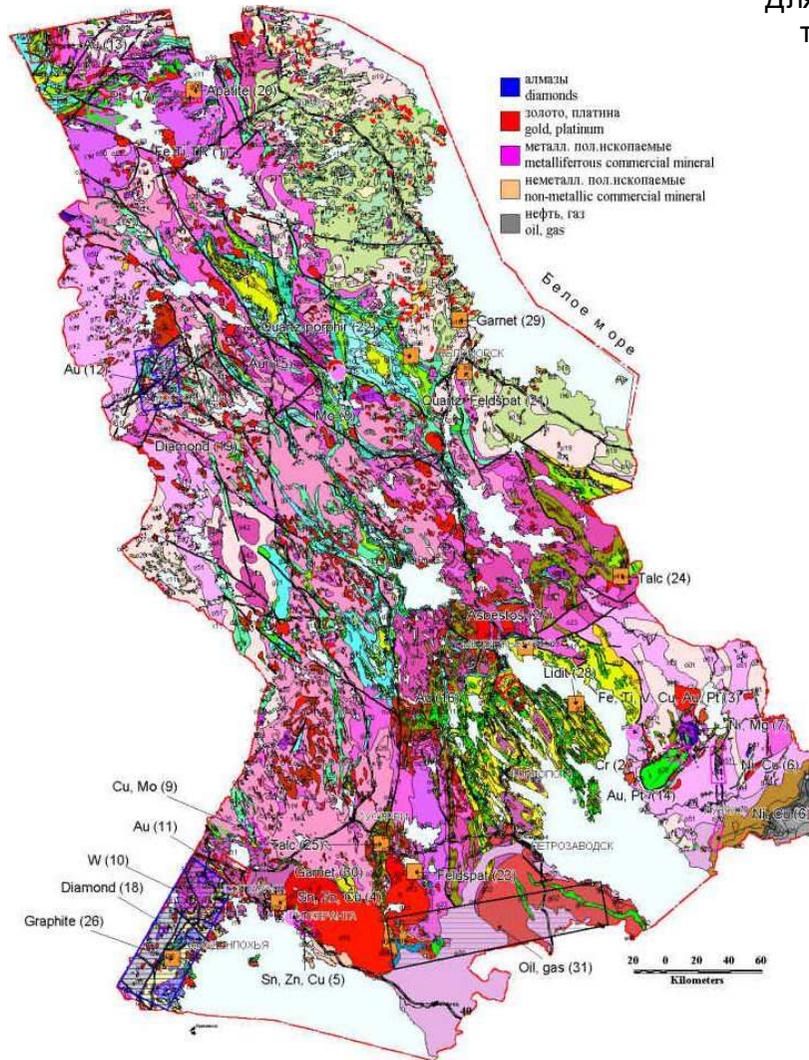


Цифровой рельеф

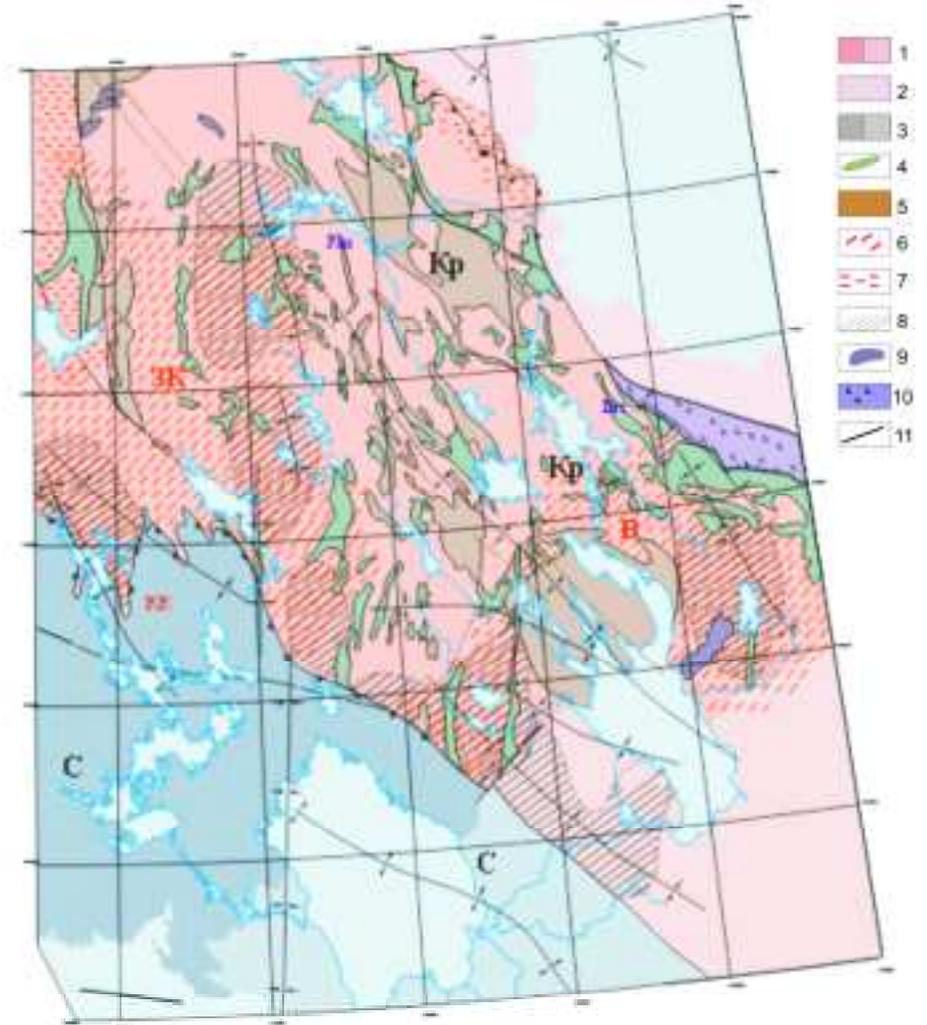


Речная сеть

Для интерпретации результатов дешифрирования привлекались традиционные материалы - геологические и тектонические карты, потенциальные геофизические поля



Геологическая карта Карелии



Тектоническая карта Карелии

Главная особенность предлагаемой технологии в том, что анализ дистанционной информации необходимо проводить ступенчато и целенаправленно для выделения только тех информативных элементов, которые затем войдут в состав прогнозно-поисковых моделей соответствующего ранга. Наиболее целесообразно проведение трёх этапов работ. В рамках первого, на площадях до миллионов квадратных километров, по материалам низкого разрешения визуализируются следы наиболее глубинных структур активизации. В рамках второго и третьего на участках площадью в сотни и десятки квадратных километров, по материалам среднего и высокого разрешения, уточняется позиция структур, выделенных на первых этапах, и визуализируются менее глубинные.

Состав работ на всех этапах близок и включает:

- компьютерную подготовку космических снимков и другой дистанционной информации с помощью специальных программ обработки (синтез, фильтрация, кластеризация, различного рода трансформации и т.д);
- визуальное и компьютерное дешифрирование как первичных изображений, так и многочисленных «композитов»;
- обработку полученных материалов качественными и количественными методами для выделения информативных признаков;
- визуализацию информативных признаков на специализированных космоструктурных картах;
- оконтуривание участков аномального присутствия вовлечённых в анализ благоприятных признаков.
- оценка позиции выделенных участков относительно других факторов, влияющих на алмазность кимберлитов и условиям ведения поисков.



Схема анализа материалов одного уровня генерализации

Примеры подготовки и анализа дистанционных материалов:

1) создание рельефных изображений



2) Варианты синтеза

1-2-3



1-2-3-inv



2-1-3

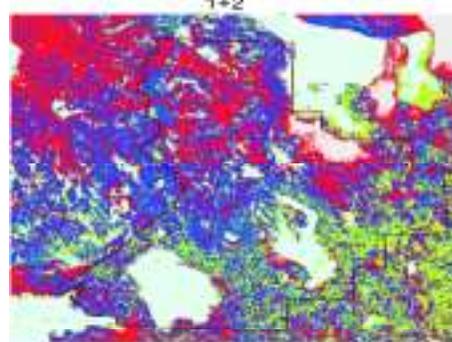


3-2-1

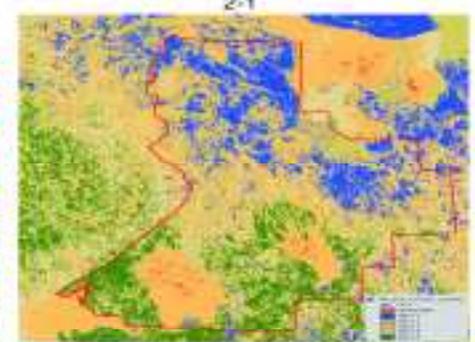


3) Варианты кластеризации

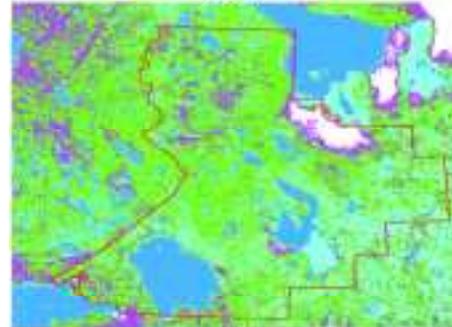
1+2



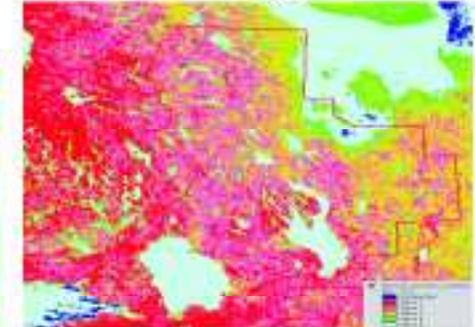
2-1



3+2



3-2



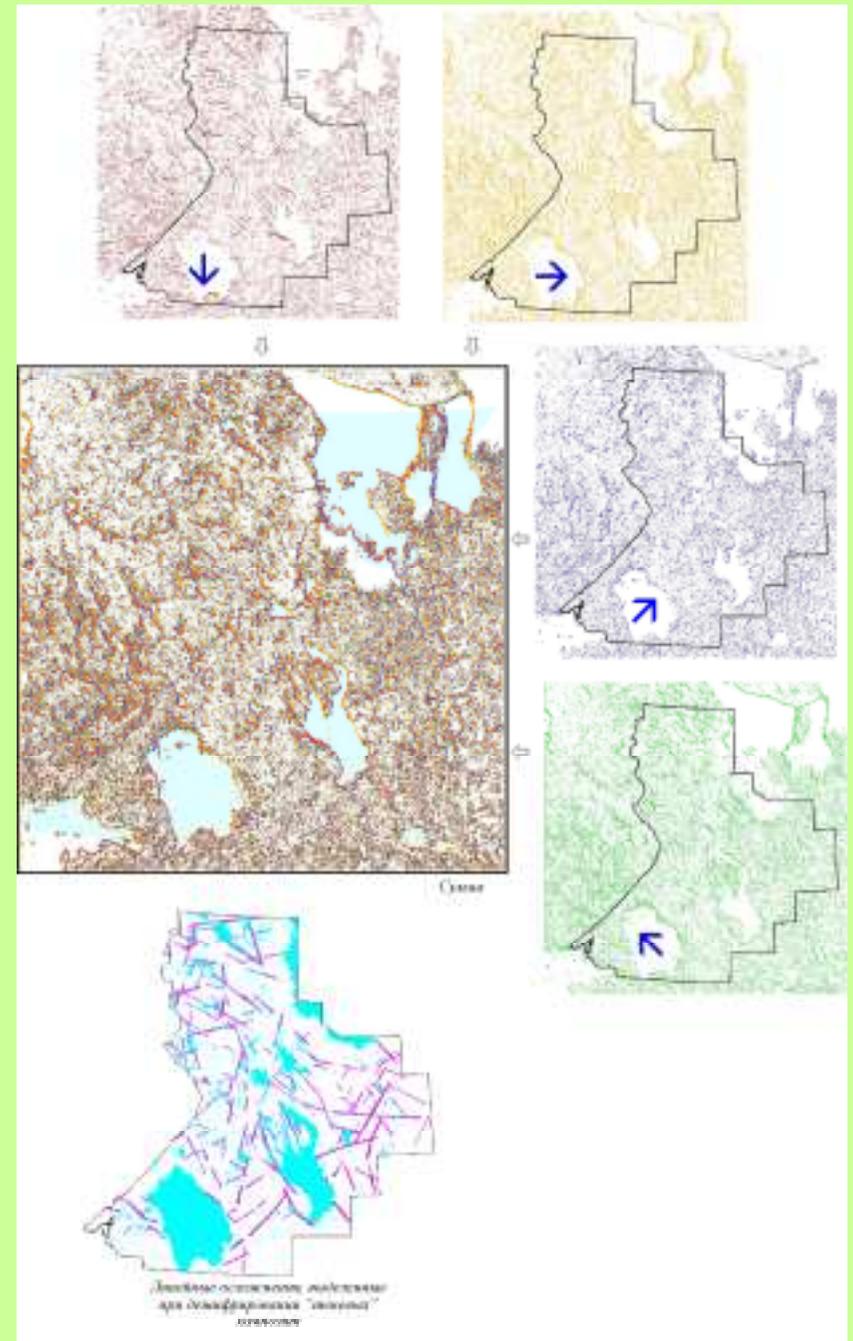
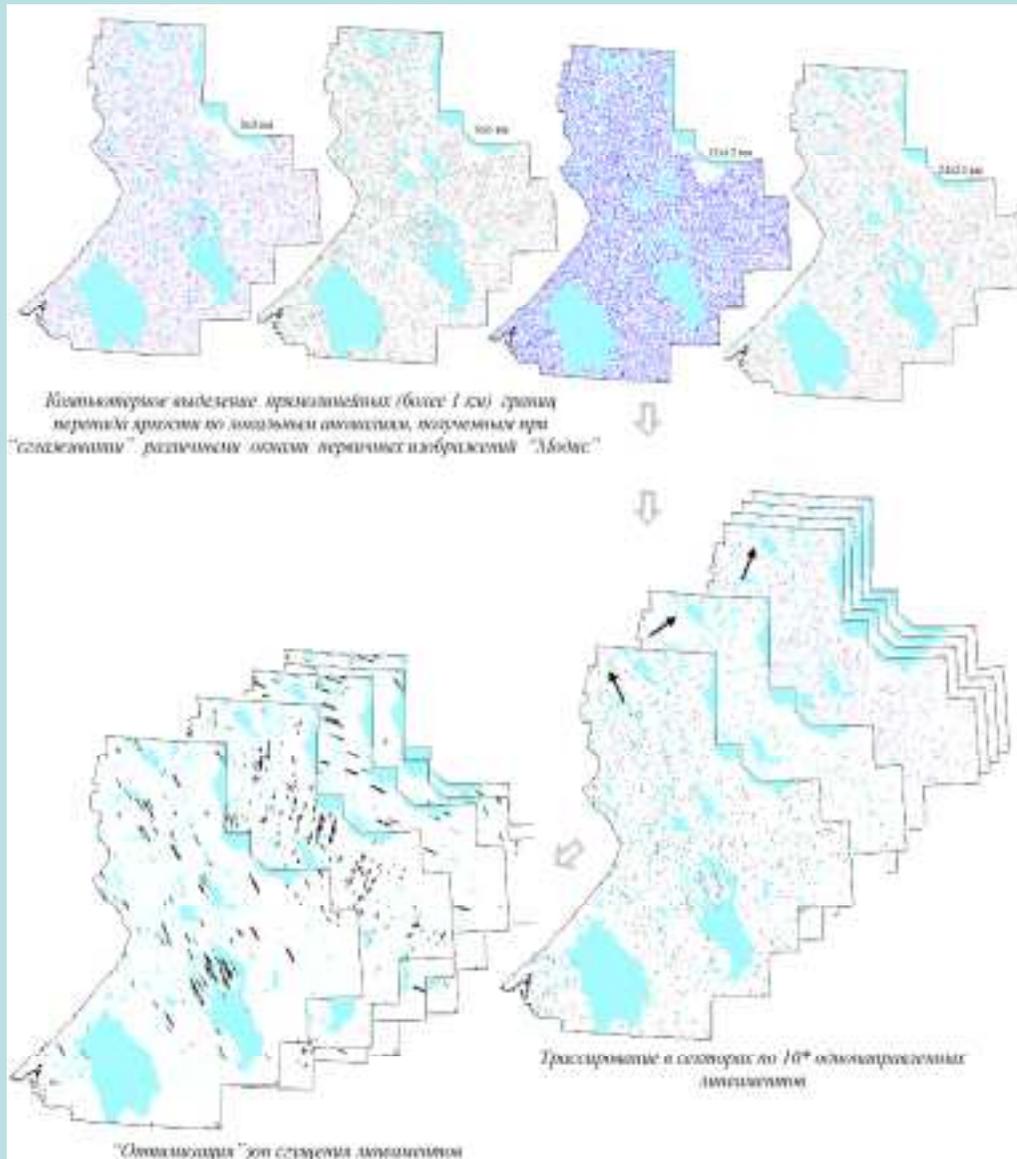
3-2-1



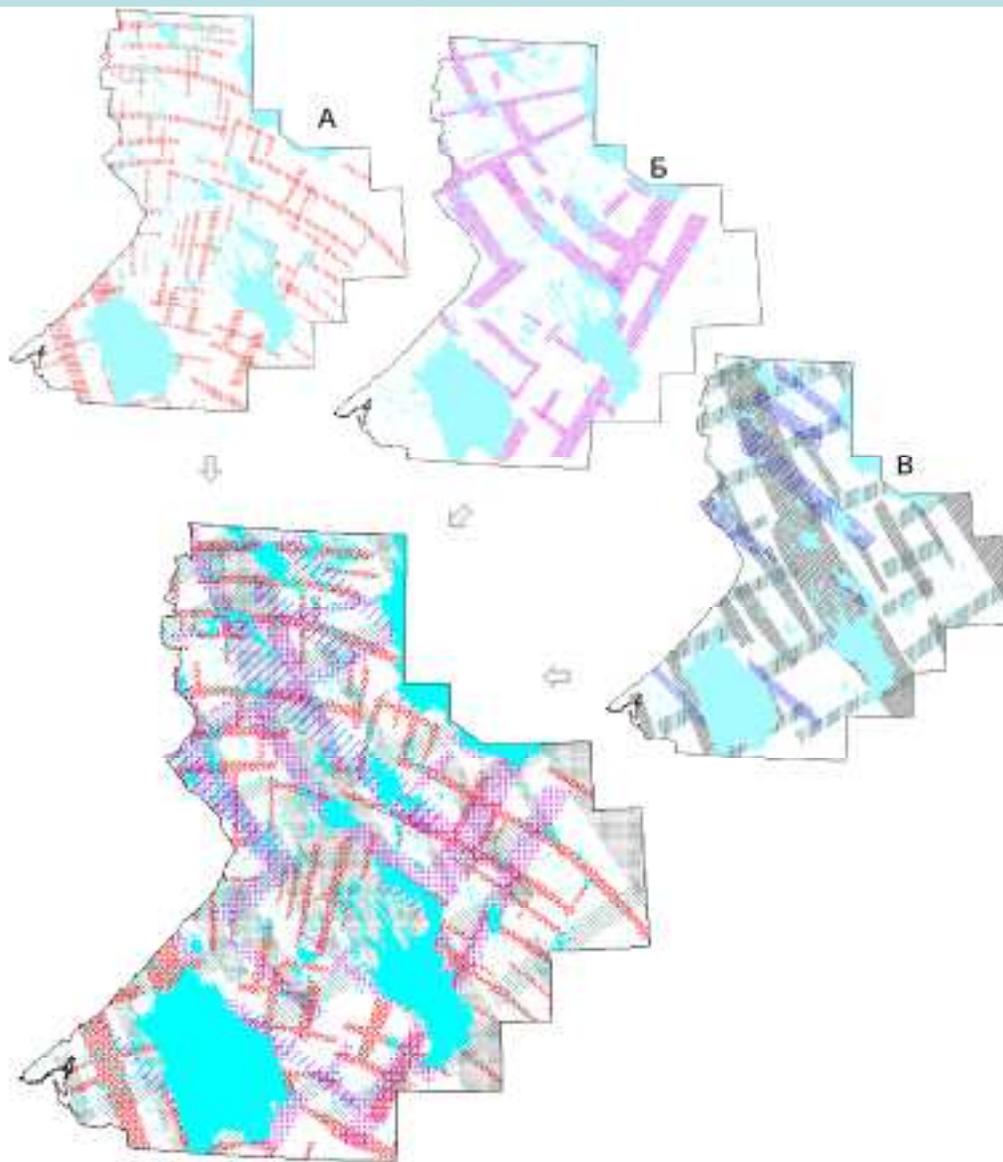
7 канал - 7 классов



Варианты компьютерного дешифрирования линеаментов



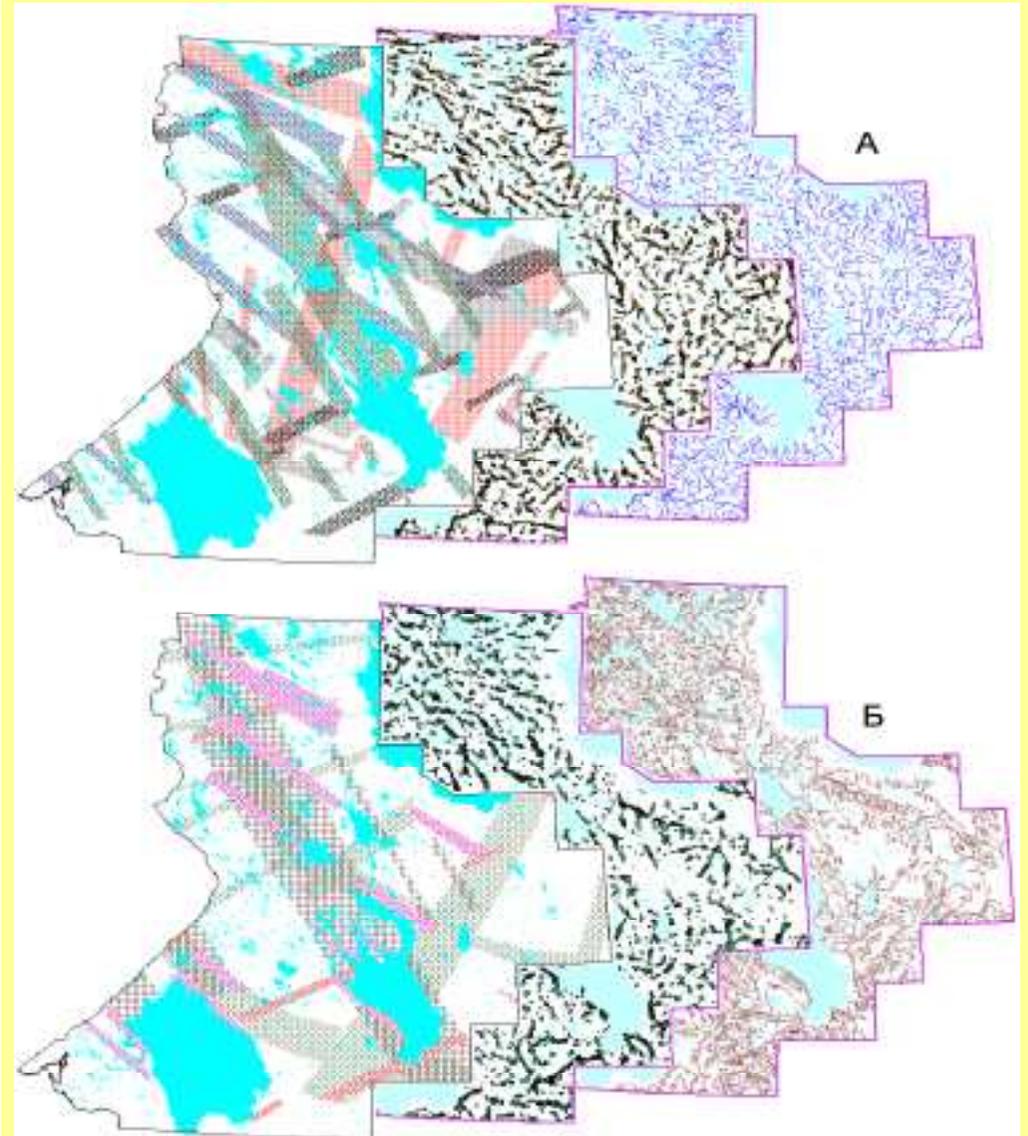
Варианты направленной фильтрации



Зоны сгущения однонаправленных линейментов, полученные при обработке результатов компьютерного дешифрирования

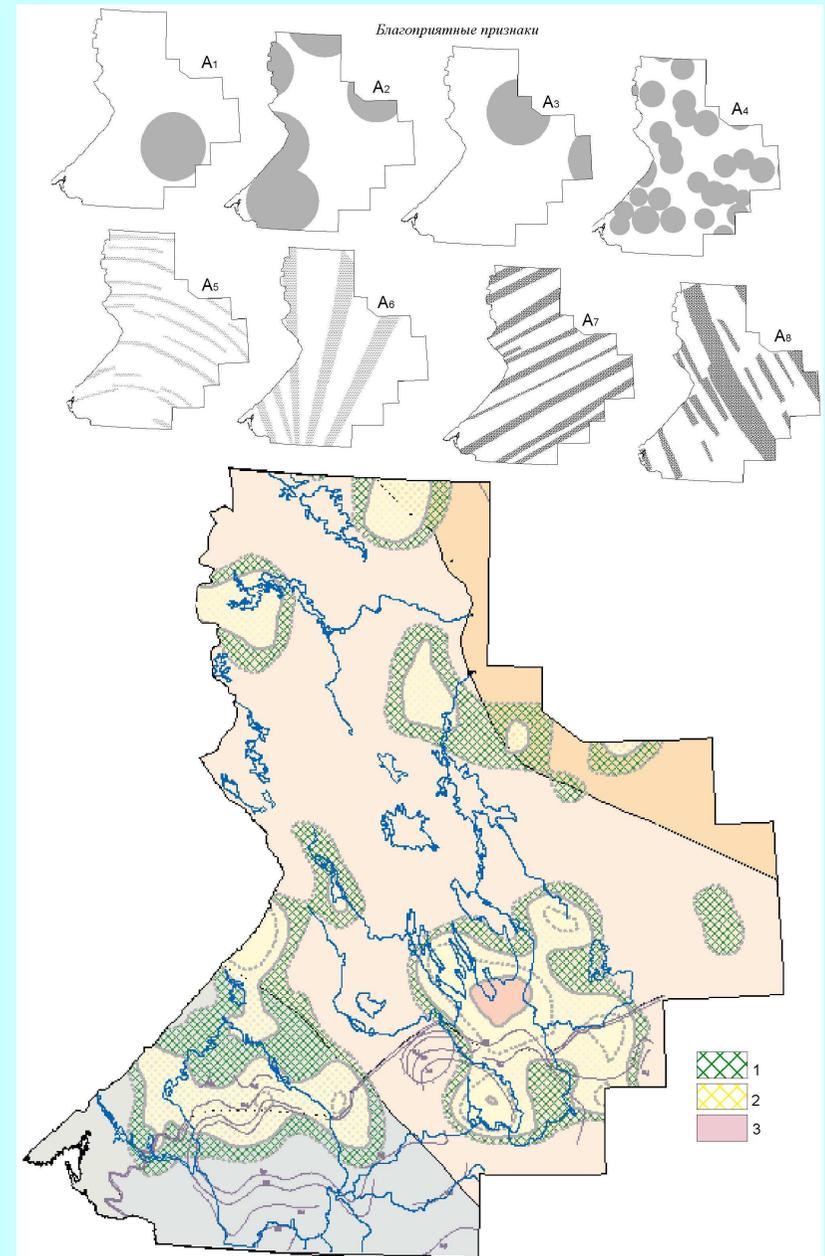
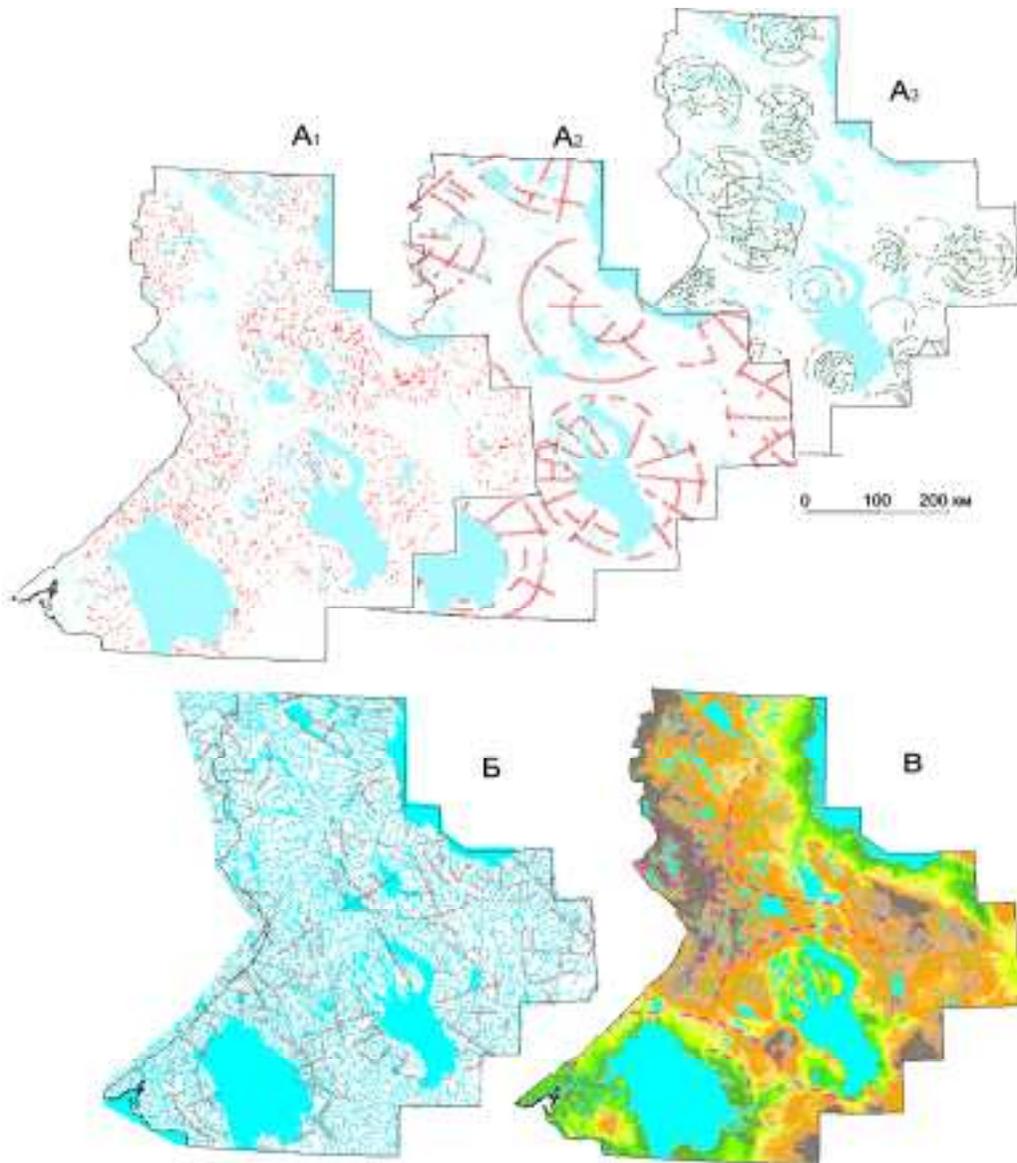
(А - тектонипара 1; Б - тектонипара 2; В - зоны с азимутами простираия 60°, 130° и 150°) и сводная схема.

Примеры компьютерного выделения прямолинейных участков речной сети (А) и горизонталей рельефа (Б) с последующим поиском зон преобладающих простираний по программе "оптимизация" и трассированием зон близориентированных элементов.



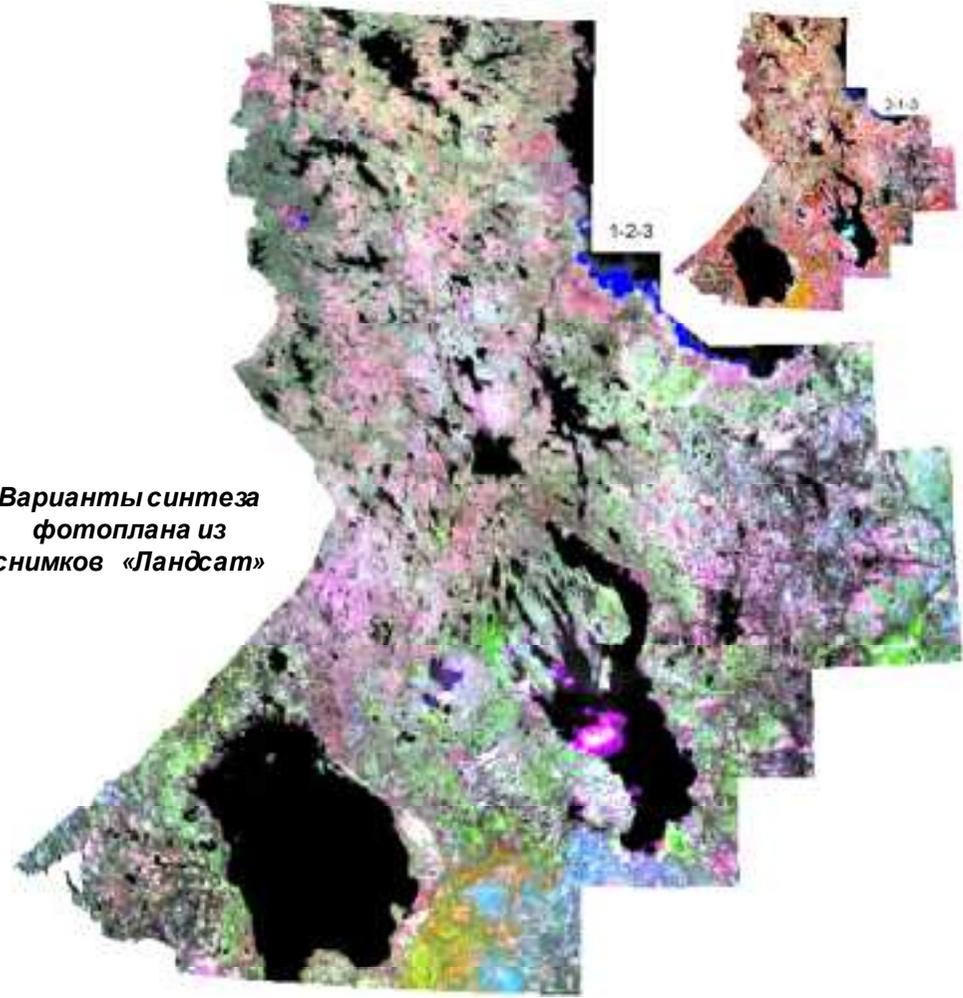
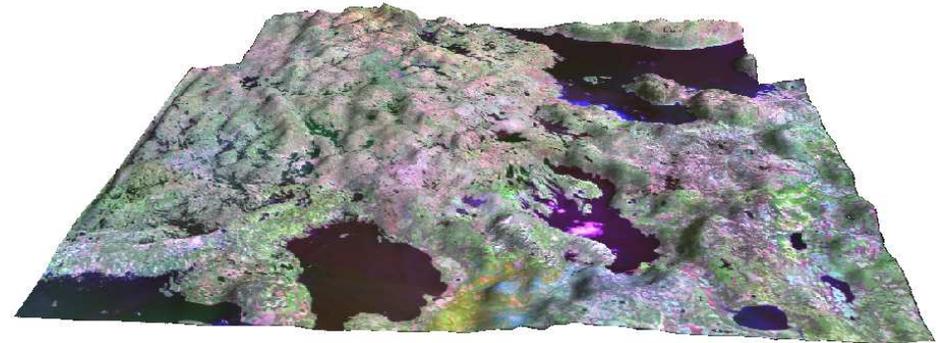
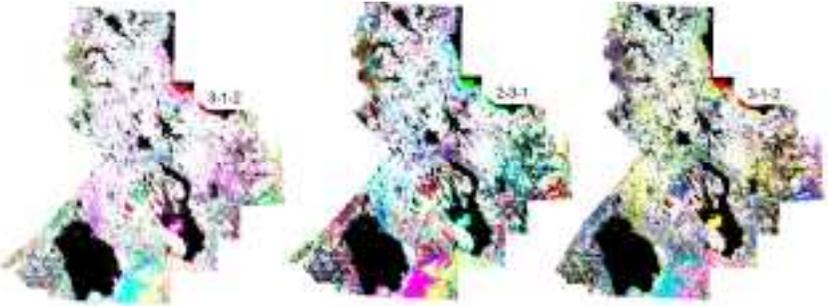
Проекция на поверхность энергетических систем разного диаметра по данным дешифрирования космических снимков низкого разрешения "Модис" (А), в рисунке речной сети (Б) и современном рельефе (В).

А - фильтрация из общего поля линеаментов структур диаметром 250 - 200 км (А1) и результат обобщения (А2); А3 - структуры диаметром - 90-70 км

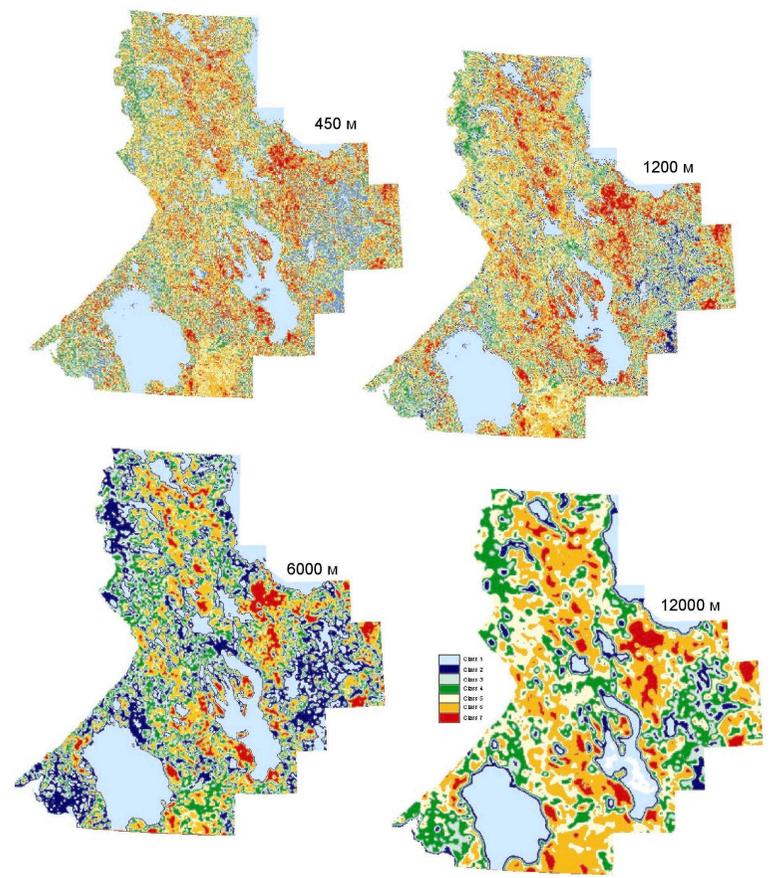


Участки, благоприятные для проникновения мантийных пород к поверхности по дистанционной прогнозно-поисковой модели (ранг "район")

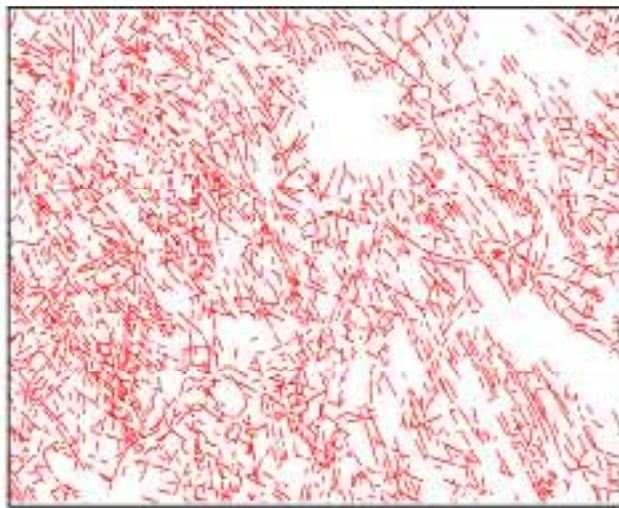
А_{1,2...} - благоприятные структурные факторы; Площади внутри изолиний, оконтуривающих аномальное присутствие сумм благоприятных факторов: 1 - $(x+0\sigma)$; 2 - $(x+ \sigma)$; 3 - $(x+2 \sigma)$.



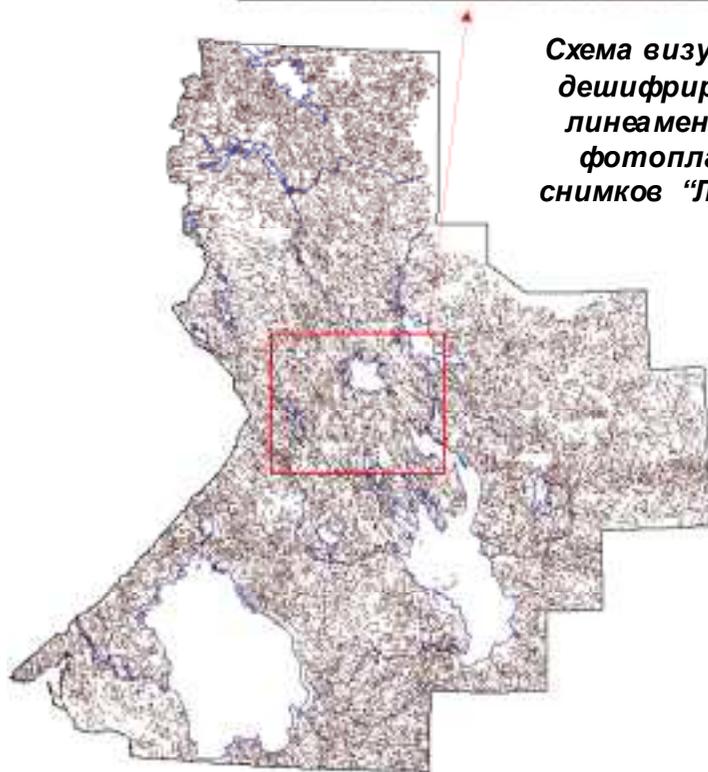
Варианты синтеза фотоплана из снимков «Ландсат»



Результаты цветового кодирования изображения после сглаживания различными окнами.



**Различные параметры , характеризующие аспределение
линементов на площади.**
(Цифрами дан размер окна и шаг скольжения)



**Схема визуального
дешифрирования
линементов по
фотоплану из
снимков "Ландсат"**

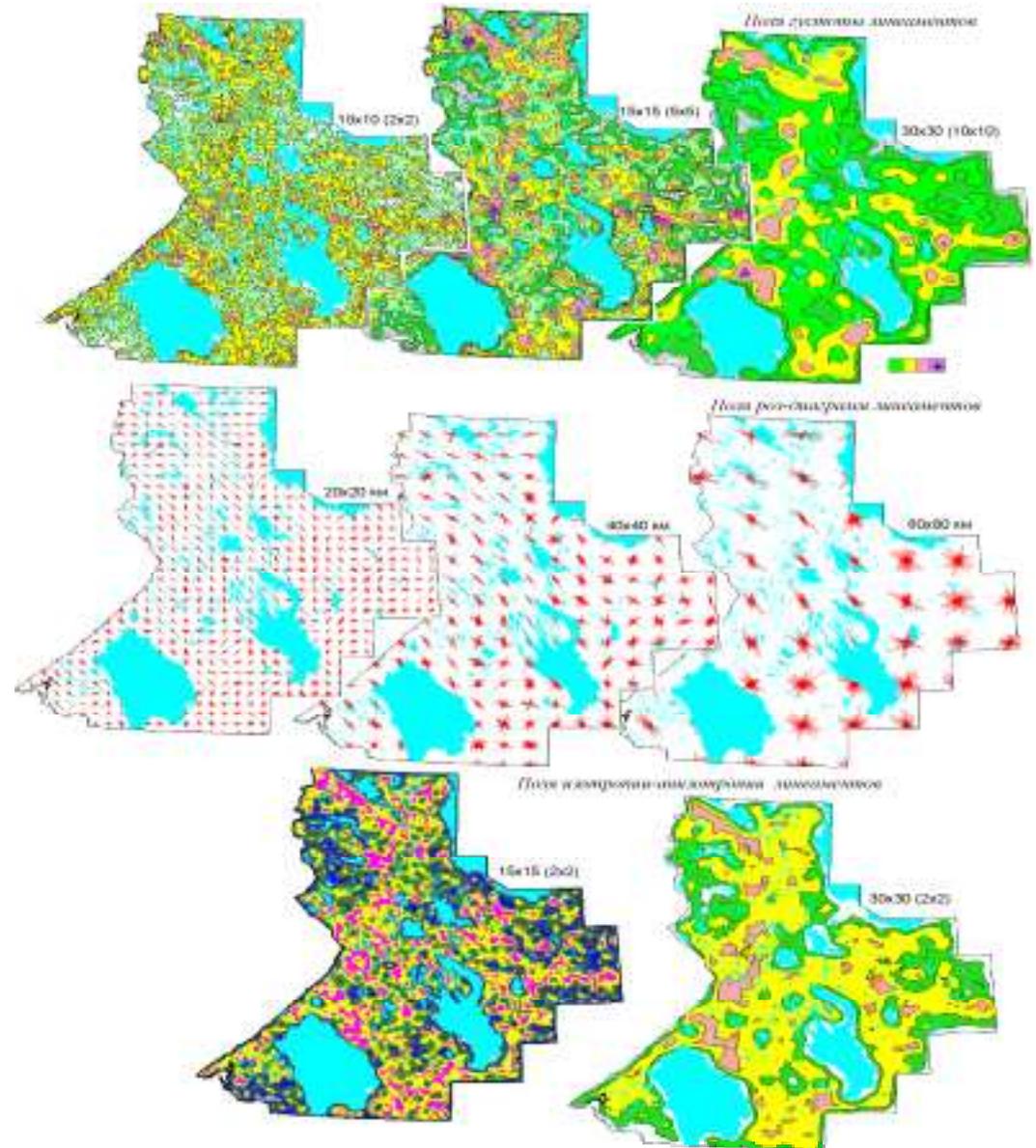
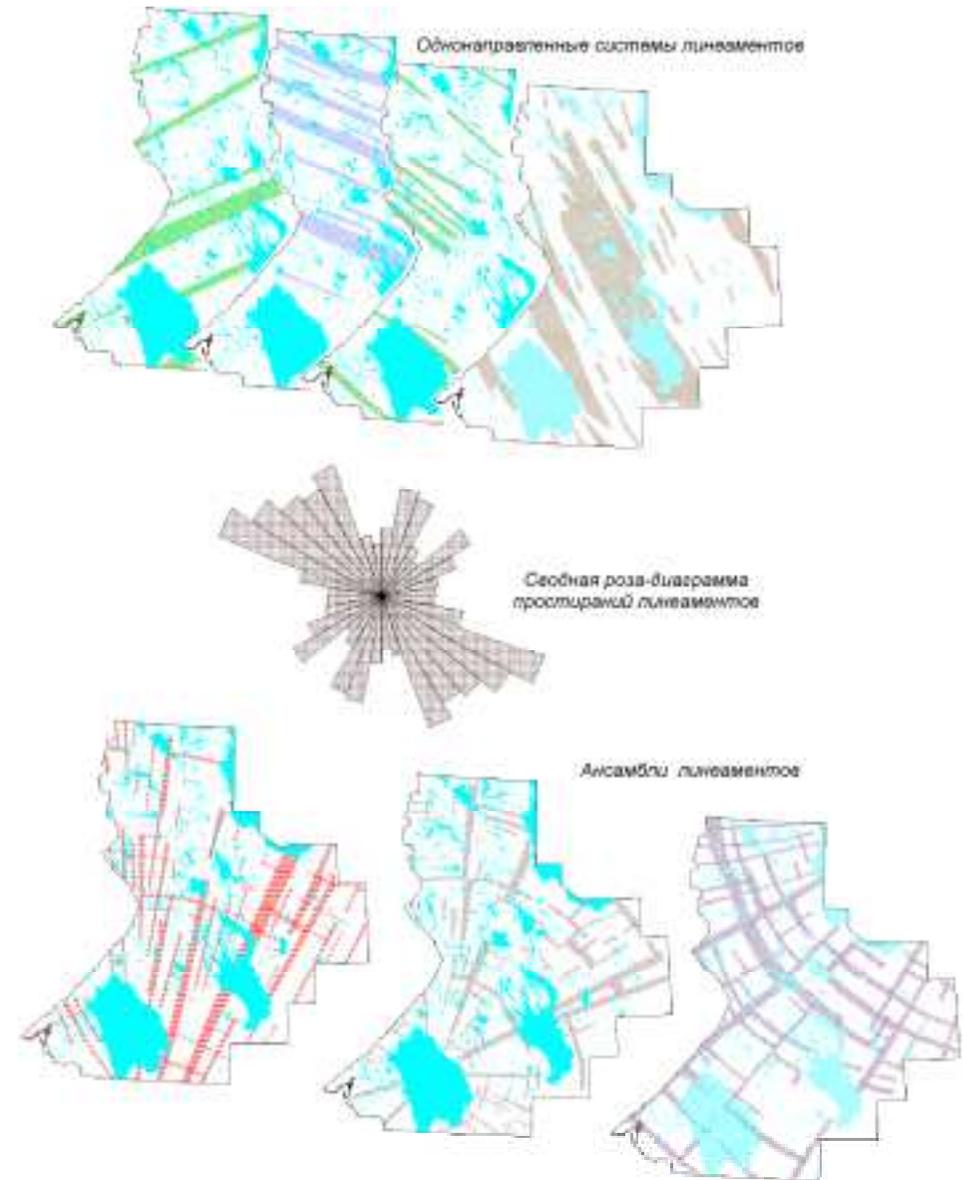
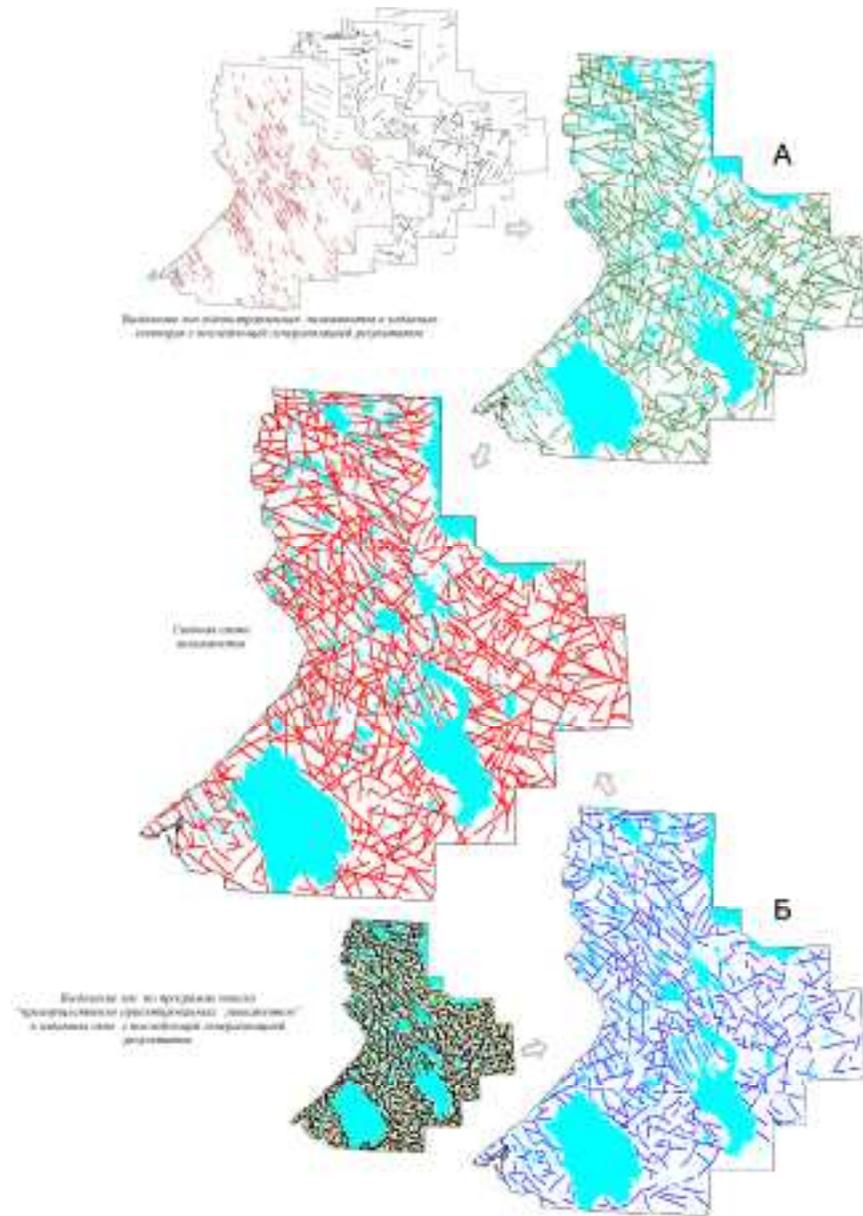


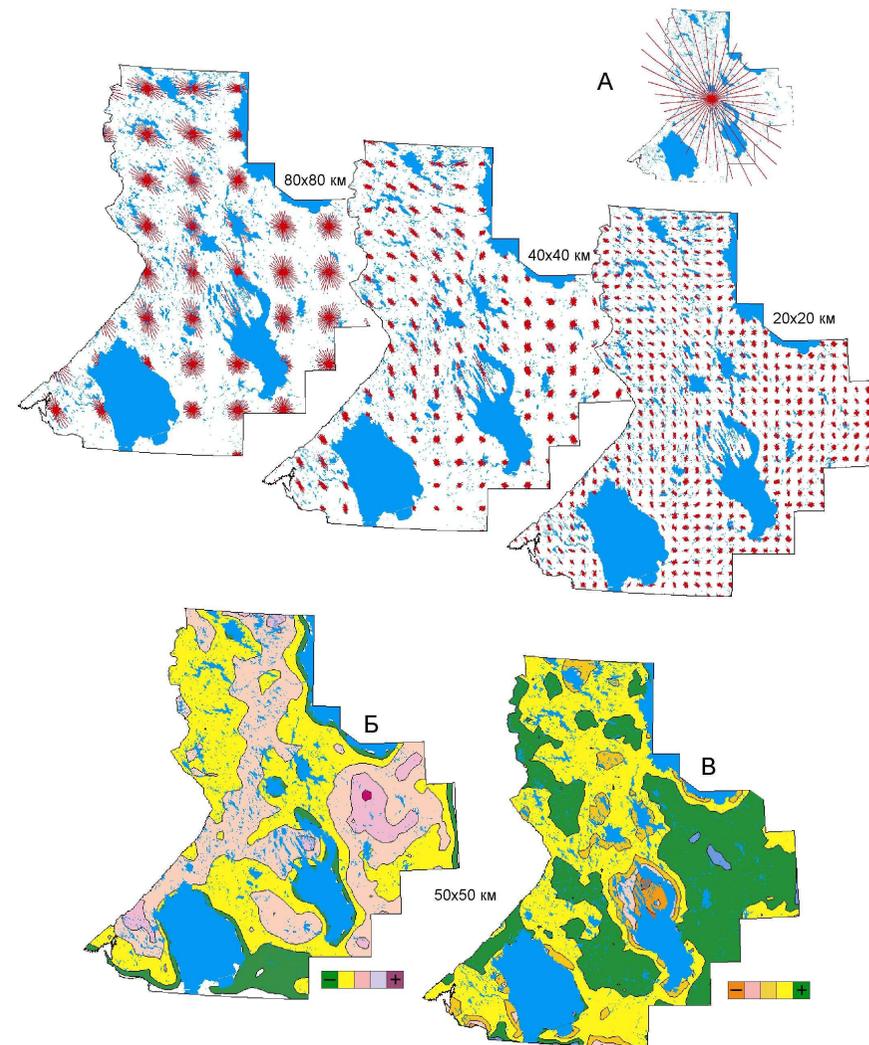
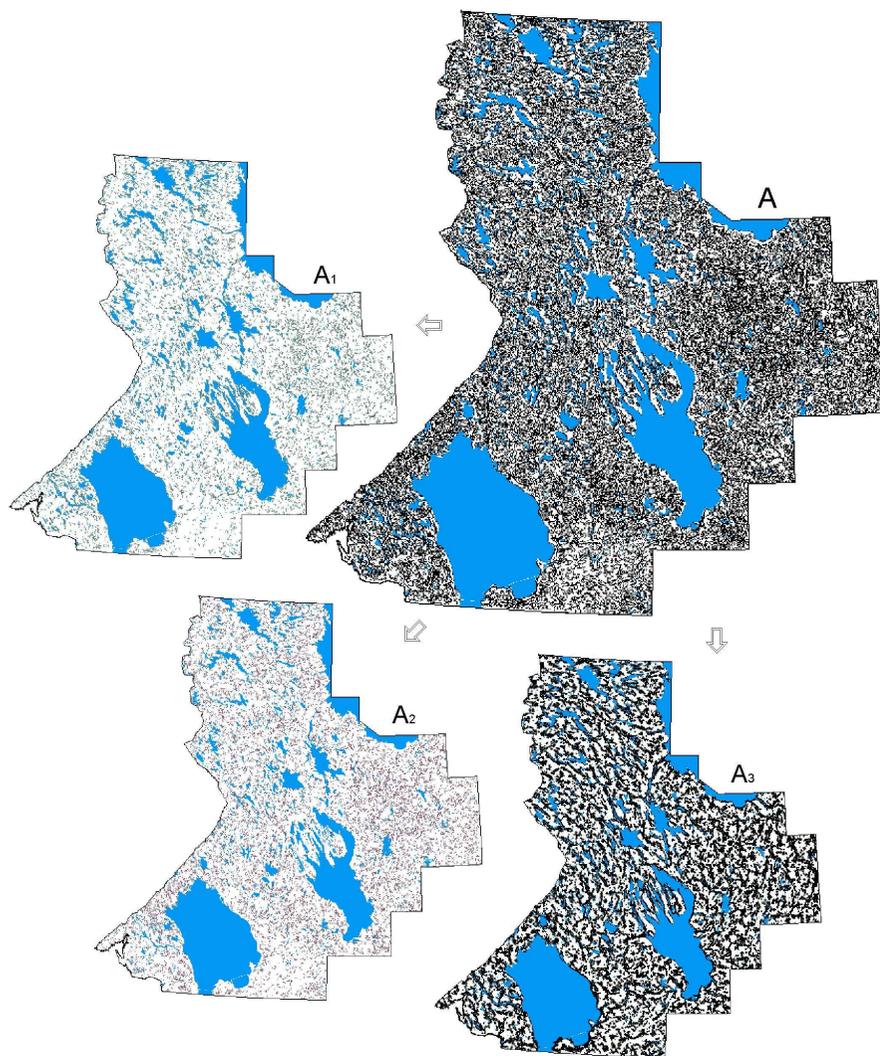
Схема линеаментов отражающих границы блоков и тектонические нарушения среднего ранга



Трассирование зон однонаправленных линеаментов и ансамблей линеаментов.

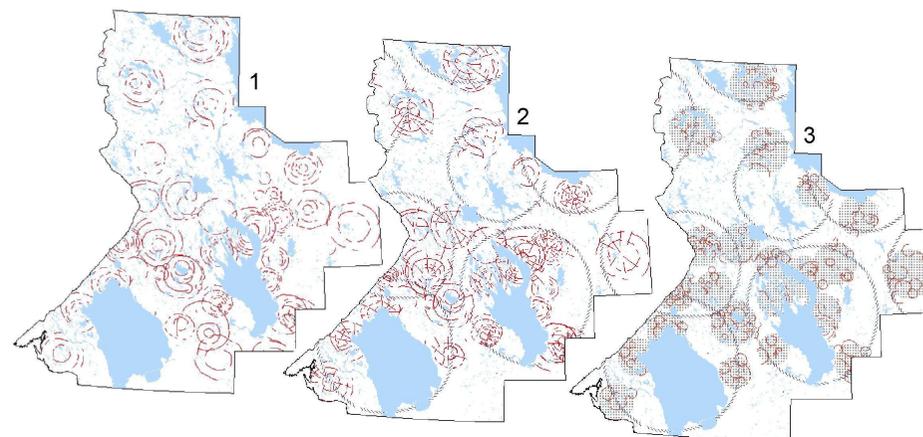
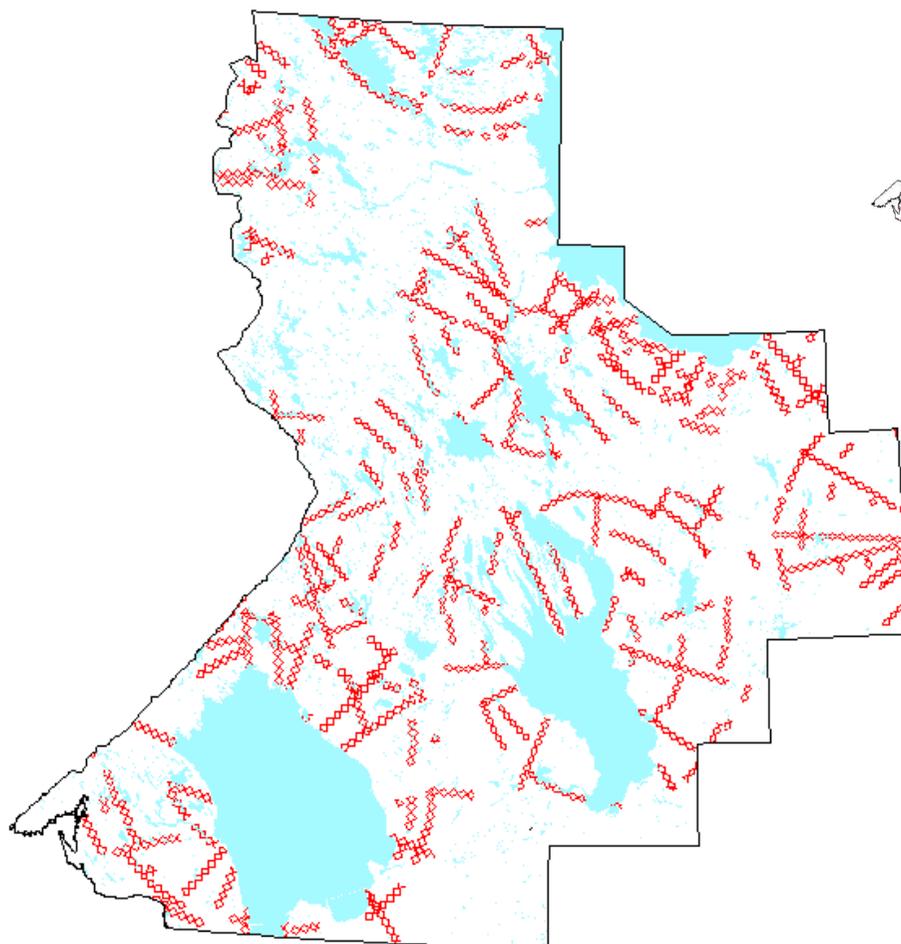
**Схема (А) компьютерного выделения
линементов по границам перепада яркости
("Ландсат") и некоторые примеры фильтрации
из неё специализированной информации:**

**А1 - "сближенных" (1,5 км) линеаментов; А2 -
взаимноперпендикулярных линеаментов; А3 - зон
преобладающих простираний микролинеаментов.**



**Качественный и количественный анализ
распределения микроэлементов, выделенных в
автоматизированном режиме, на площади.**

А - метод роз-диаграмм на площади в целом и в различных по размеру
окнах; Б - плотность в скользящем окне 50x50 км; В - изотропия -
анизотропия в окне 50x50 км.

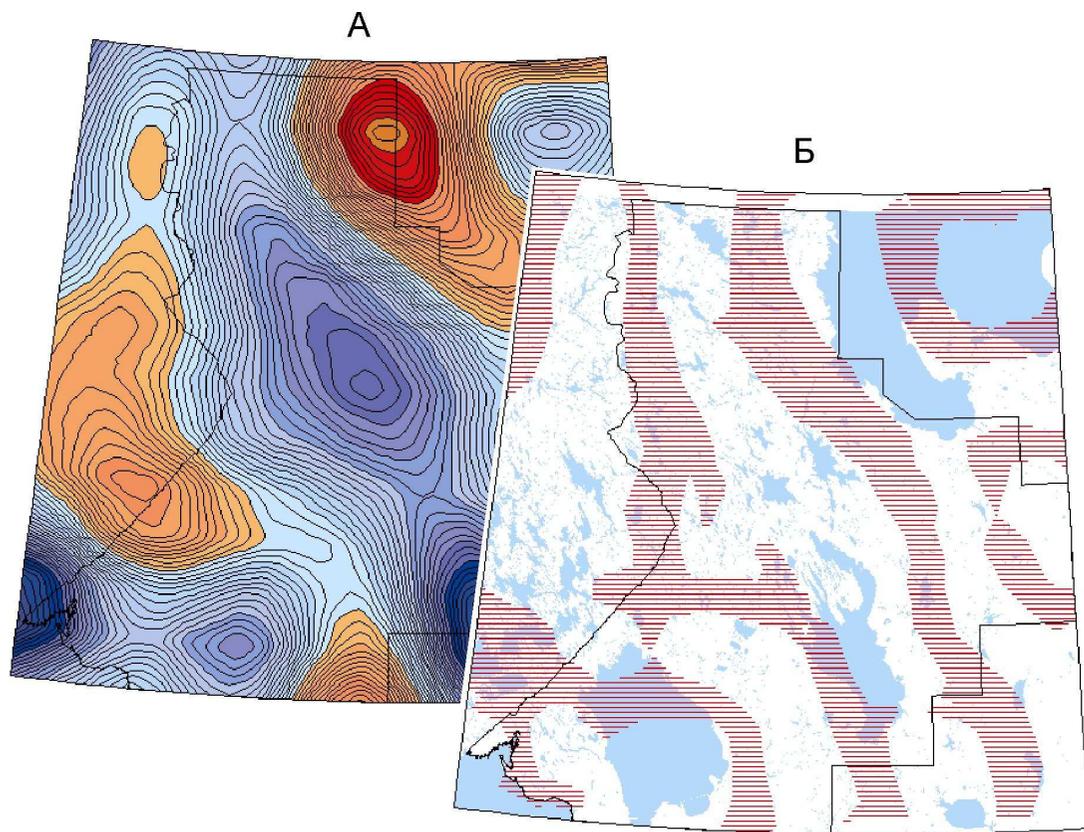


**Схема размещения очаговых структур
диаметром 50-90 км, выделенных по фотоплану
«Ландсат», на площади.**

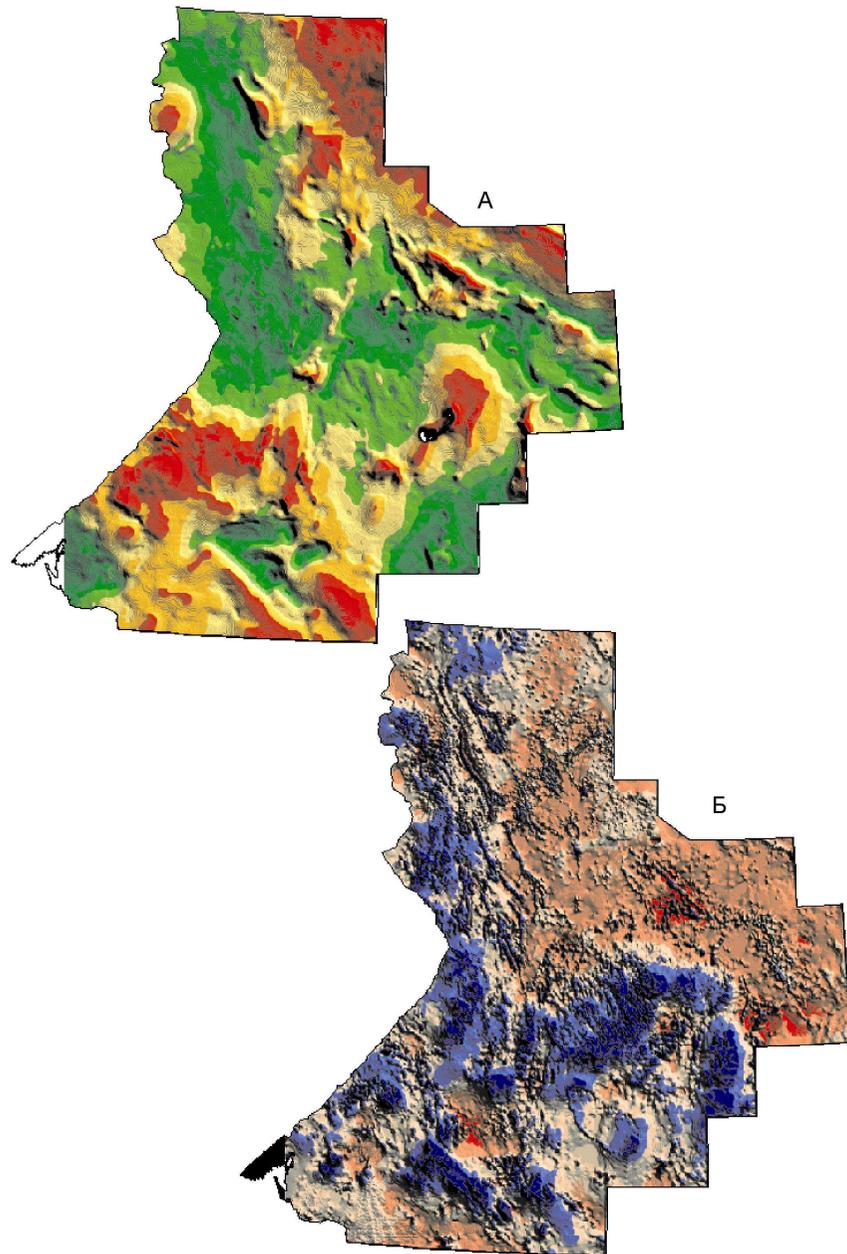
1 - кольцевые линейменты; 2 - радиальные осложнения структур, оказавшихся в сфере влияния более крупных (около 200 км) образований ; 3 - малые кольцевые структуры в пределах структур диаметром 50 - 90 км.

Обобщённые образы радиально-концентрических структур диаметром около 200 км по результатам дешифрирования фотоплана «Ландсат».

**.11 . Рельефное представление
потенциальных полей (А- силы
тяжести; Б - магнитного)
оцениваемой площади.**



**Поле локальных аномалий Фая (А) и зоны их
максимальных градиентов (Б).**

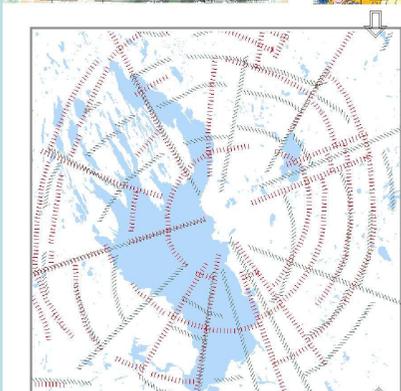
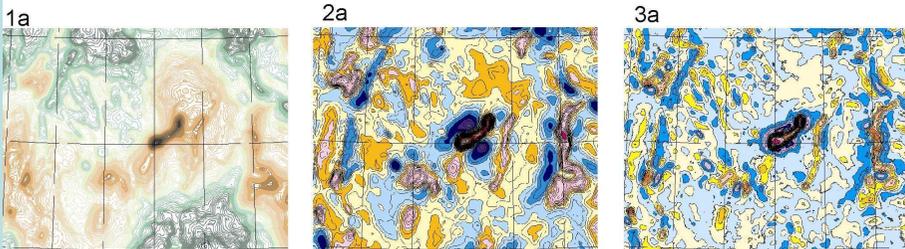




Цифровой рельеф

Космический портрет

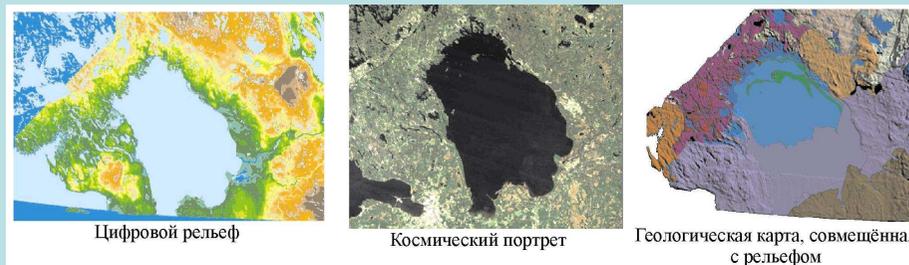
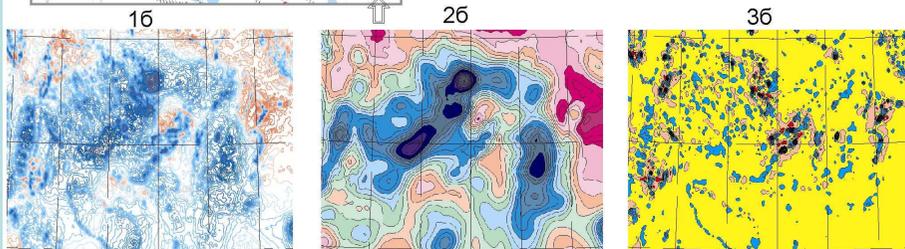
Геологическая карта



1а - поле силы тяжести (аномалии Буге) и его локальные составляющие при осреднении $R=50$ км (2а) и 20 км (3а);

1б - аномальное магнитное поле, его осреднение $R=20$ км (2б) и локальная составляющая $s=20$ км (3б)

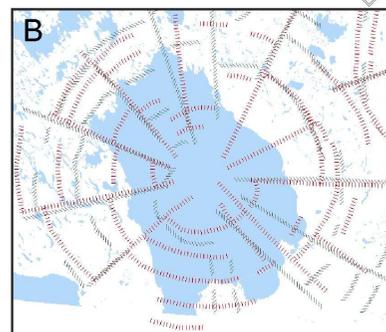
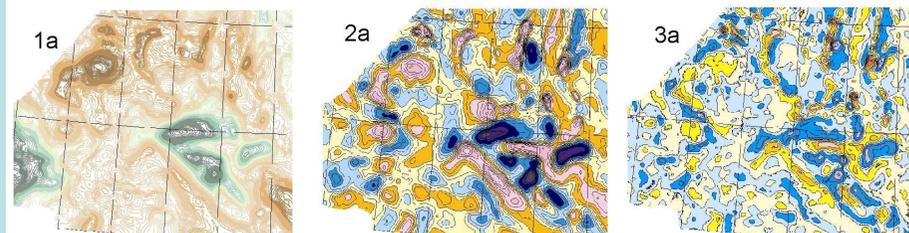
В - схема элементов, которые в совокупности проявляют Ладожскую активизационную структуру (красные - по гравиметрическим данным; зелёные - по магнитным данным).



Цифровой рельеф

Космический портрет

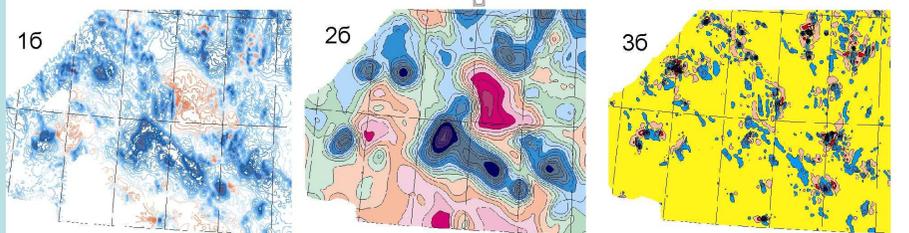
Геологическая карта, совмещённая с рельефом



1а - поле силы тяжести (аномалии Буге) и его локальные составляющие при осреднении $R=50$ км (2а) и 20 км (3а);

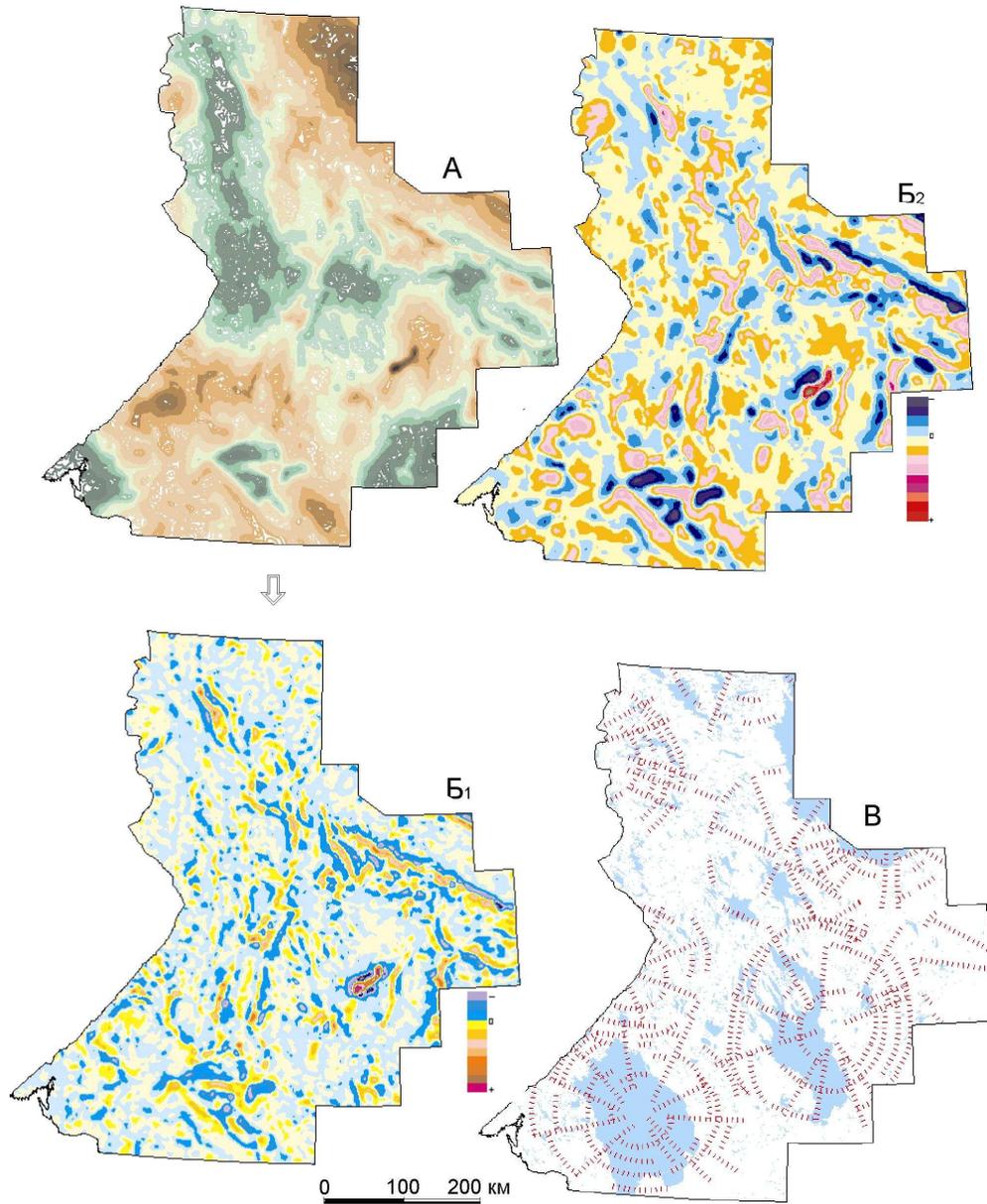
1б - аномальное магнитное поле, его осреднение $R=20$ км (2б) и локальная составляющая $s=20$ км (3б)

В - схема элементов, которые в совокупности проявляют Ладожскую активизационную структуру (красные - по гравиметрическим данным; зелёные - по магнитным данным).

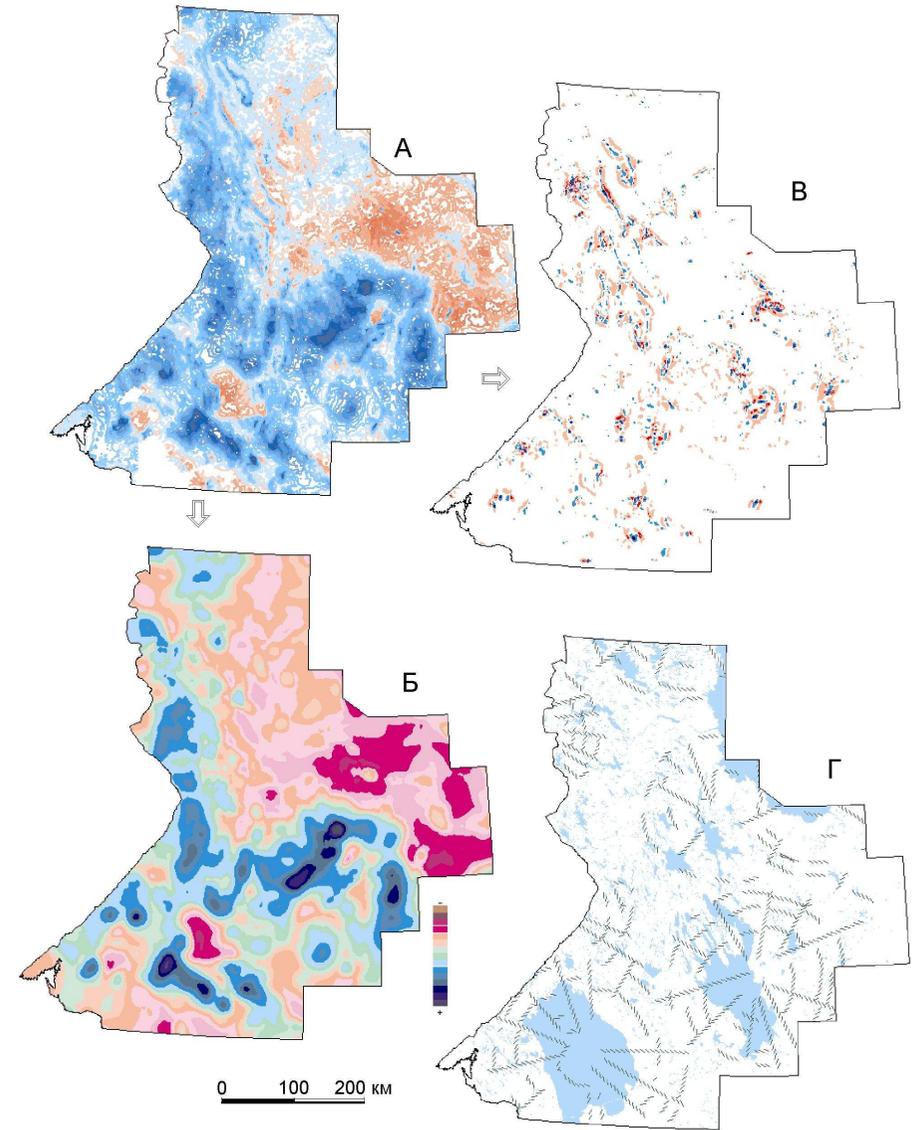


Образы Ладожской и Онежской активизационных структур в различных материалах.

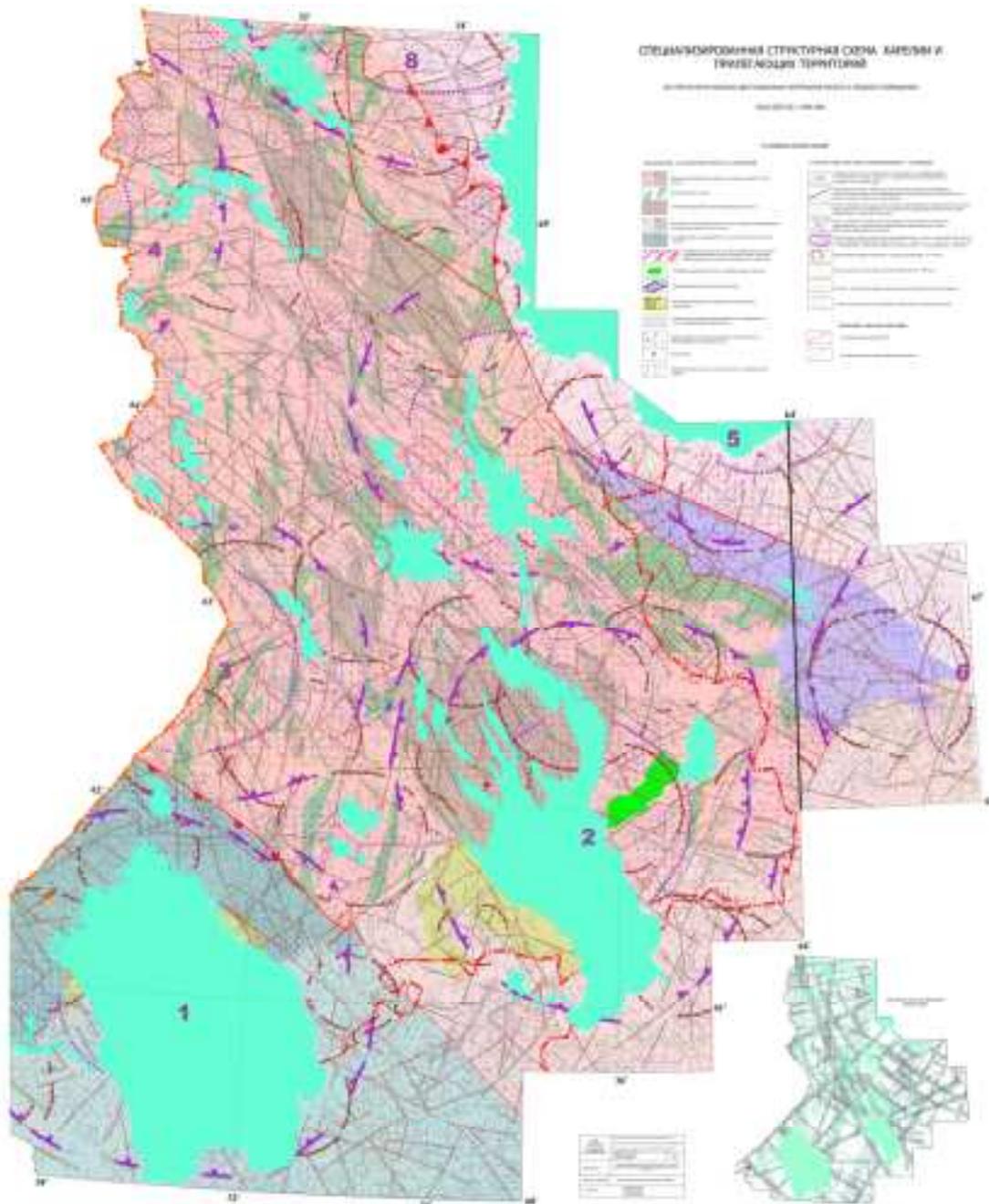
**Образы подкоровых очаговых энергетических систем
в гравитационном и магнитном поле
и некоторых его трансформациях.**



A - наблюдаемое поле аномалий Буге; B1 - локальные составляющие при осреднении 50 км; B2 - 20 км; B - сводные образы систем.

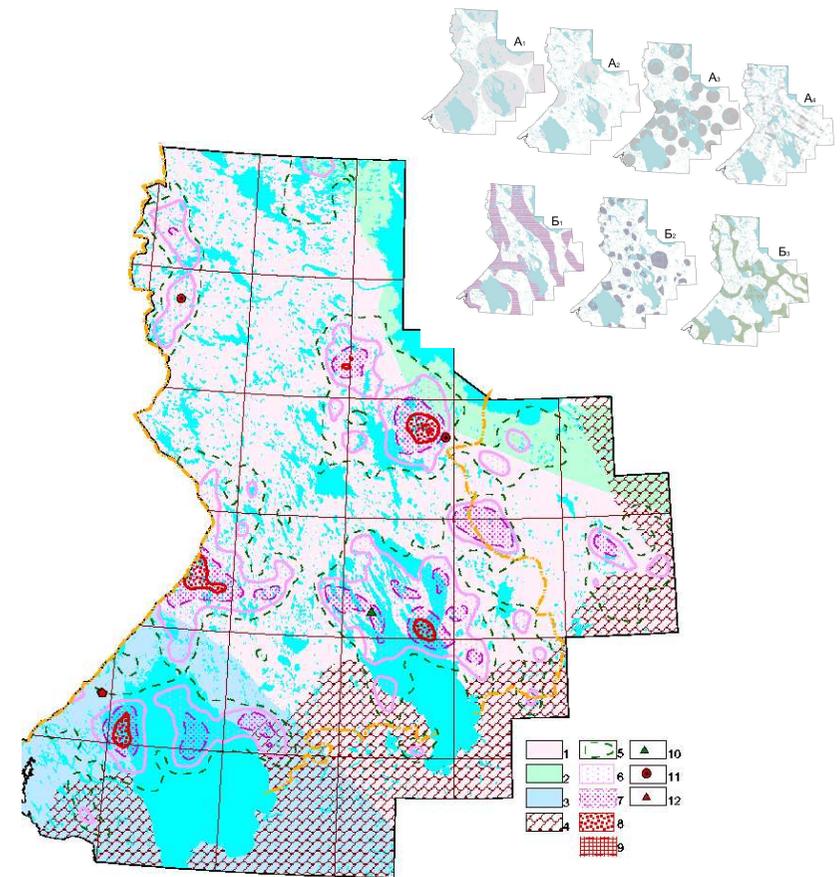


A - аномальное магнитное поле; Б - осреднённое магнитное поле с R=20 км; В - локальные составляющие магнитного поля с R=20 км; Г - сводные образы систем.



Благоприятные для проникновения мантийных пород к поверхности по комплексной прогнозно-поисковой модели (ранг "район")

Архейские геоблоки фундамента: 1 - карельский; 2 - беломорский; 3 - свекофенский; 4 - область распространения осадочных пород фанерозойского чехла. Участки аномального распространения благоприятных признаков со значениями: 1 - $(x+0,5\sigma)$; 2 - $(x+1\sigma)$; 3 - $(x+1,5\sigma)$; 4 - $(x+2\sigma)$; 5 - $(x+2,5\sigma)$. Известные тела коренных: 6 - кимберлитов; 7 - лампроитов; 8 - ладоголитов.



Зимнебережный алмазоносный район

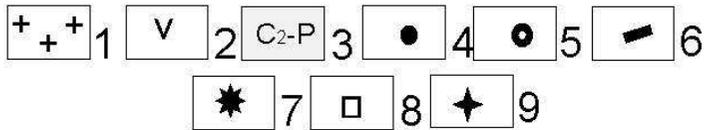
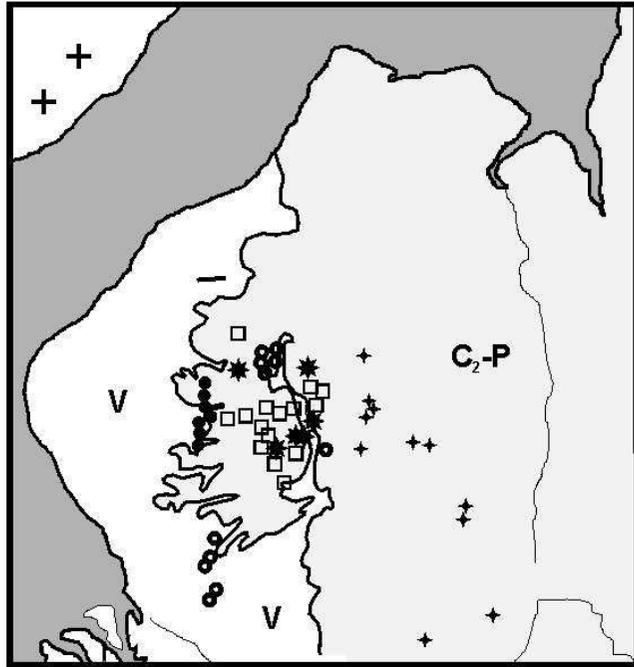
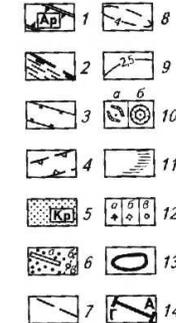
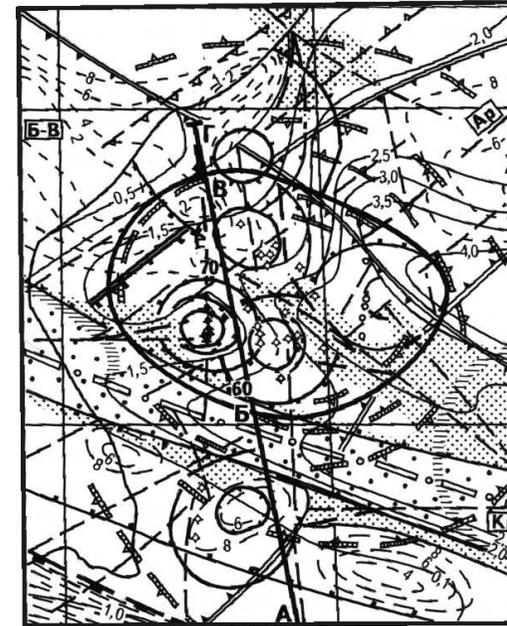


Схема размещения кимберлитов и кимберлитоподобных пород Зимнего Берега.

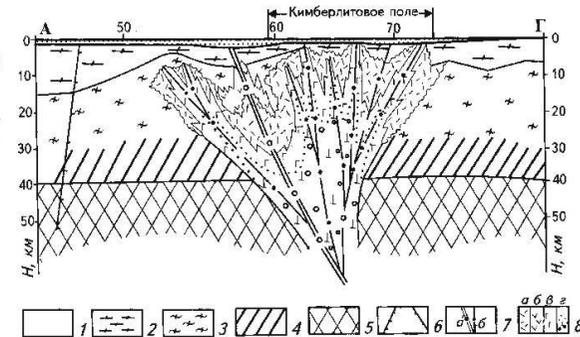
Геологические формации: 1 - кристаллического фундамента Балтийского щита; 2 - терригенные отложения венда; 3 - карбонатные отложения перми и карбона. Магматиты Зимнего Берега (**Al-серия**): 4 - кимберлиты алмазоносные; 5 - кимберлиты и мелилититы; 6 - силл Мела; (**Fe-Ti-серия**): 7 - кимберлиты; 8 - кимберлиты и пикриты; 9 - базальты.



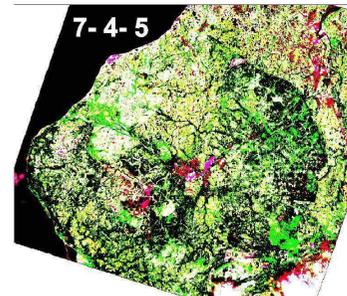
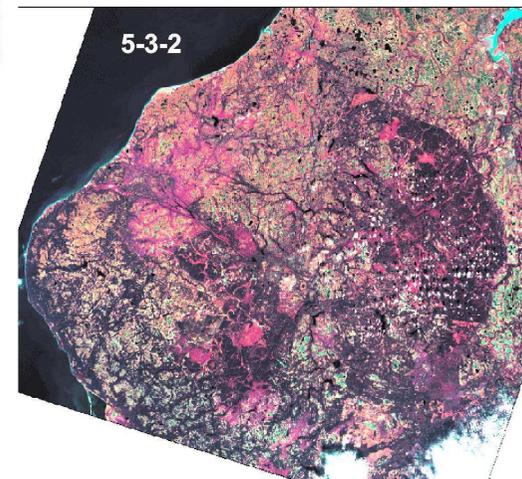
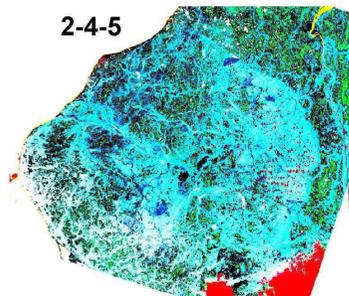
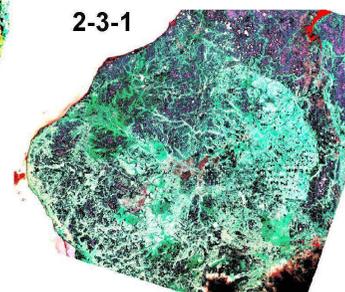
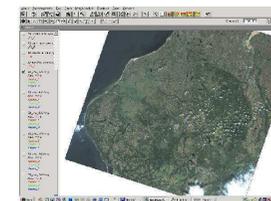
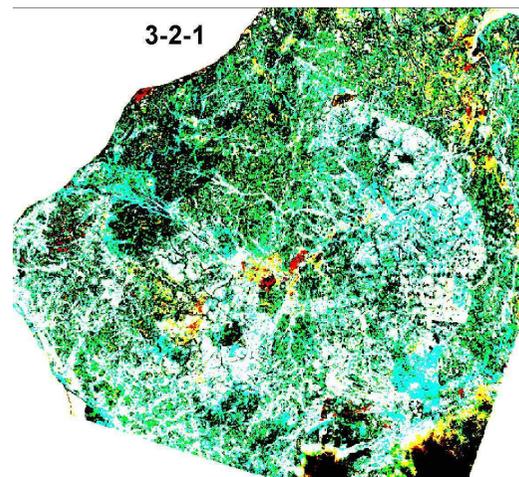
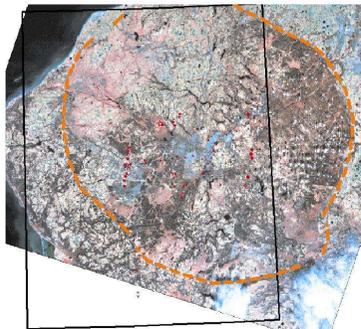
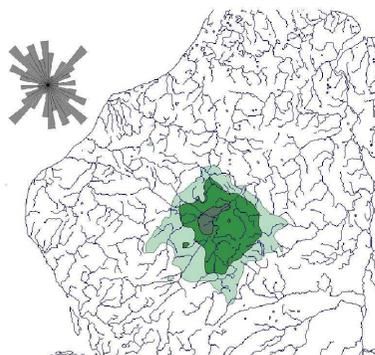
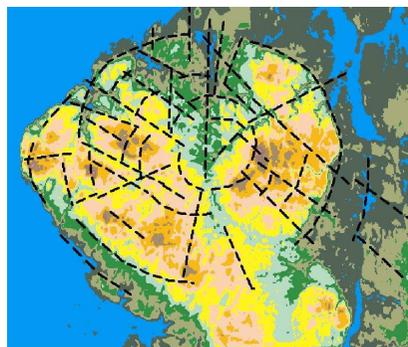
1- трансрегиональные мобильно-пронцаемые структуры (Б-В - Беломорско-Вычегодский пояс; Ар - Архангельская зона); 2 - Беломорско-Вычегодский мобильно-пронцаемый пояс; 3-4 - магмаактивные зоны; 5 Керещдкий грабен; 6 - зоны глубинных разломов; 7 - прочие разрывные нарушения; 8 - изогипсы поверхности скрытых докембрийских базит-гипербазитовых массивов (в км); 9 - изогипсы поверхности кристаллического фундамента; 10 - кольцевые структуры по магнитометрическим данным; 11 - области крупных коромантйных рауплотнений; 12 - трубки кимберлитов (а), пикритов (б), базальтов (в); 13 контур

Рис.8. Геолого-геофизическая схема Зимнебережного района и разрез по линии А - Г.
(по А.А. Фельдману и Н.А. Прусаковой) []

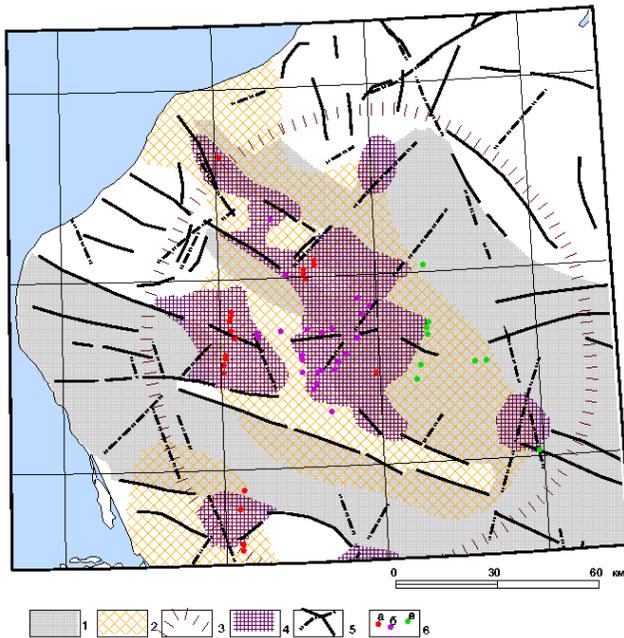
1 - осадочный чехол; 2 - гранитоидный комплекс; 3 - промежуточный (диоритовый) слой; 4 - гранулит-базитовый слой; 5 - верхняя мантия; 6 - граниды магмаактивных зон; 7 - ось зоны глубинного разлома с системой оперяющих нарушений; 8 - породы флюидно-магматической колонны; а - изменённые коровые образования; б - базитовые; в - базит-гипербазитовые; г - кимберлитовые.



Цифровой рельеф и речная сеть

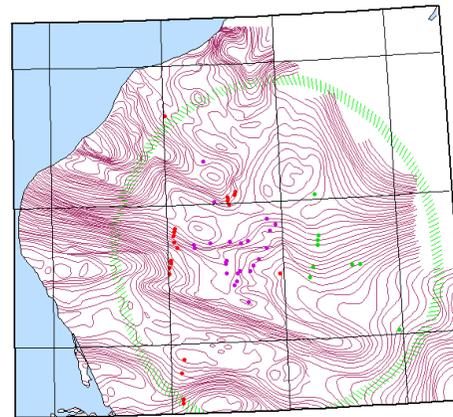


Варианты синтеза различных спектральных каналов съёмки со спутника «Ландсат»

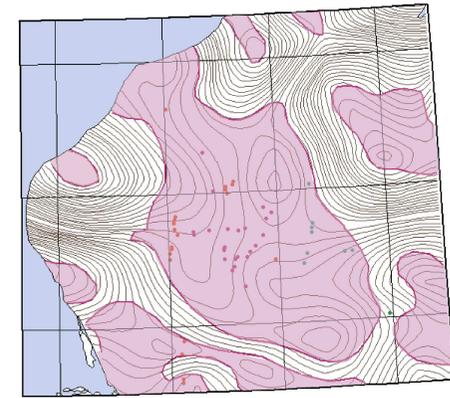


Элементы интерпретации поля силы тяжести

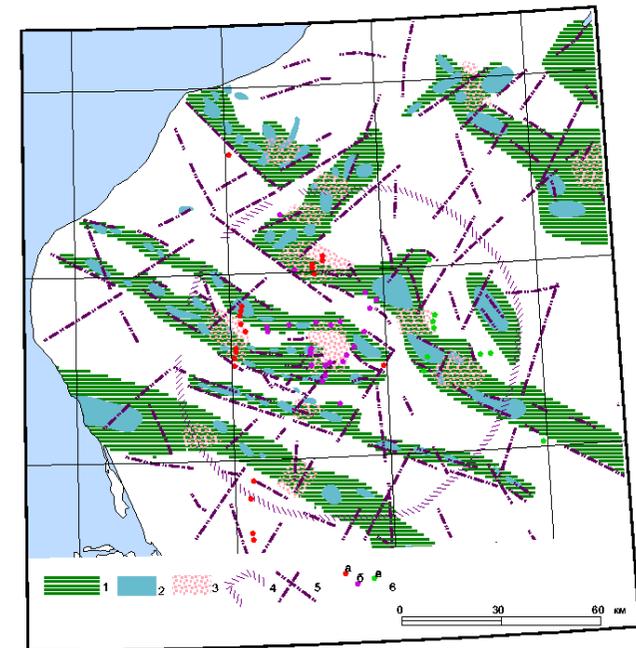
1 – «ветви» регионального минимума северо-западного простирания; 2 – площади относительно спокойного (слабоградиентного) поля; 3 – контур области деструкции в пределах регионального минимума; 4 – локальные отрицательные аномалии на периферии и за границами регионального минимума; 5 – граничные и секущие линейные элементы; 6 – магматиты: а) Al- серии; б) Fe-Ti- серии; в) - базальты.



Область деструкции региональной полосовой аномалии силы тяжести северо-западного простирания

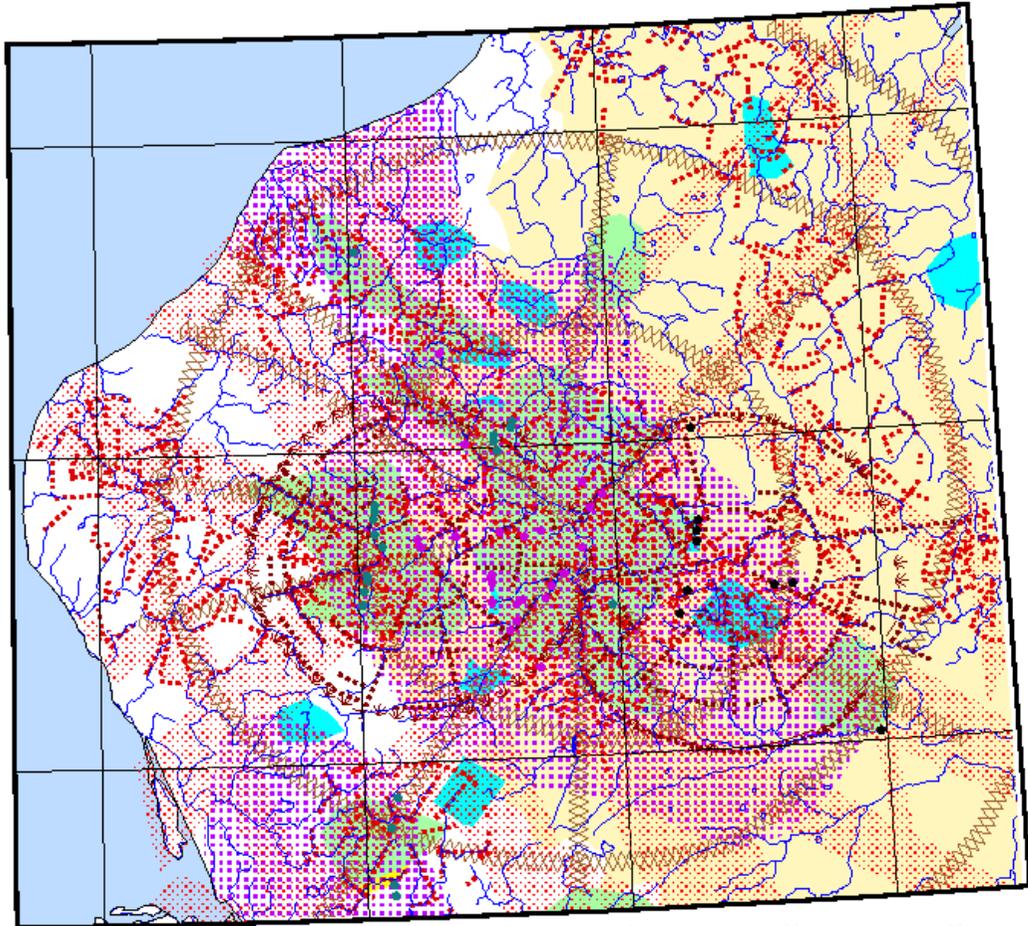


Области с пониженными (менее 0,5 мгл/км) значениями градиента осреднённого поля силы тяжести (Rоср= 5км)



Элементы интерпретации магнитного поля .

1 – среднечастотные положительные аномалии; 2 – высокочастотные положительные аномалии; 3 – участки пониженной интенсивности поля в пределах среднечастотных аномалий; 4 – контуры области деструкции региональной полосовой аномалии; 5 – граничные и секущие (деструктивные) линейные элементы; 6 – магматиты: а) Al- серии; б) Fe-Ti- серии; в) - базальты.

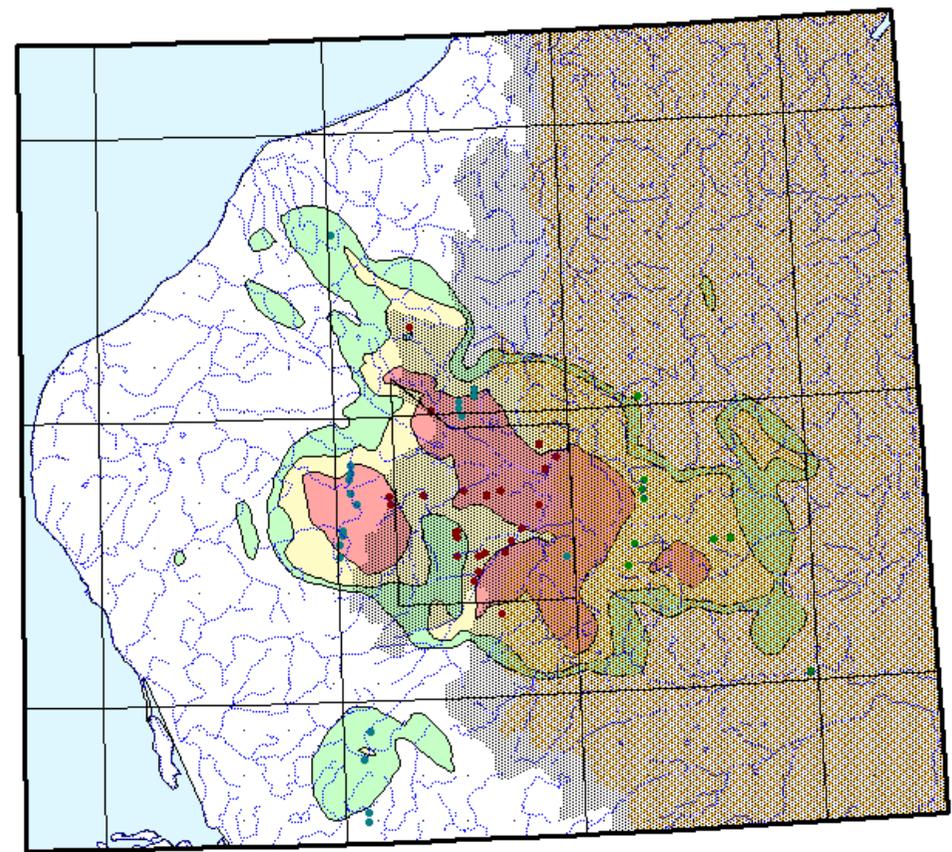


Специализированная геолого-структурная схема по материалам анализа дистанционных (космических и геофизических) материалов малого и среднего разрешения.

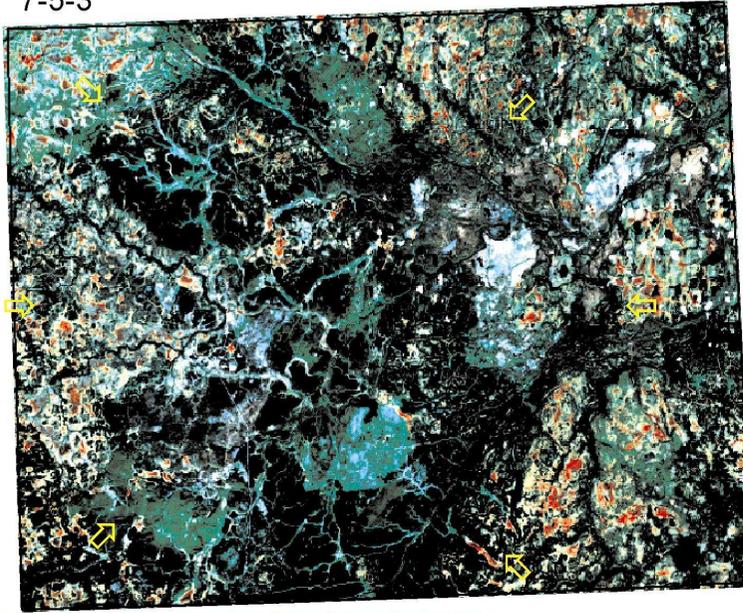
1 – секущие линейные зоны повышенной проницаемости земной коры различных направлений по результатам обработки данных дешифрирования; 2 – основные радиальные и концентрические деформации ландшафта, фиксирующие влияние мантийного диапира на земную кору; 3 – тоновые и структурные осложнения ландшафта, фиксирующие влияния на земную кору и некорковых очагов тектоно-магматической активизации; 4 – структурные осложнения ландшафта, фиксирующие влияния на земную кору среднекорковых очагов тектоно-магматической активизации; 5 – участки, характеризующиеся относительно спокойным (слабоградиентным) полем силы тяжести; 6 – локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести на периферии и за пределами регионального минимума; 7 – участки пониженной интенсивности магнитного поля в пределах среднечастотных аномалий; 8 – магматиты: а) Al-серии; б) Fe-Ti-серии; в) – базальты; 9 – кимберлитовмещающие осадочные толщи; 10 – посткимберлитовые осадочные образования.

Схема перспективных для проникновения кимберлитов и родственных им пород к поверхности в районе Зимнего Берега участков, выделенных с помощью дистанционной прогнозно-поисковой модели

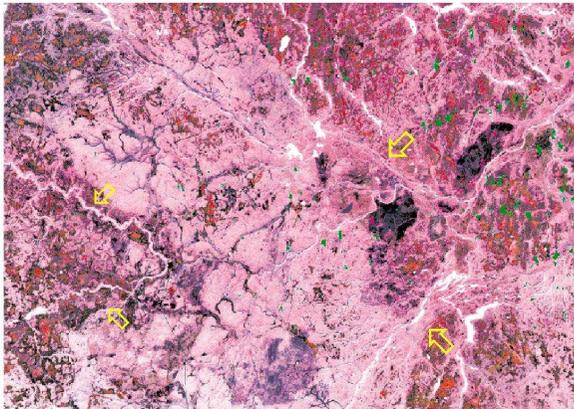
1 - участки с аномальным присутствием благоприятных признаков: 0.5, 1, 2σ; 2 - площади развития кимберлитовмещающих пород; 3 - верхнекаменноугольные посткимберлитовые отложения; 4 - пермские отложения; 5 - магматиты: а) Al-серии; б) Fe-Ti-серии; в) – базальты



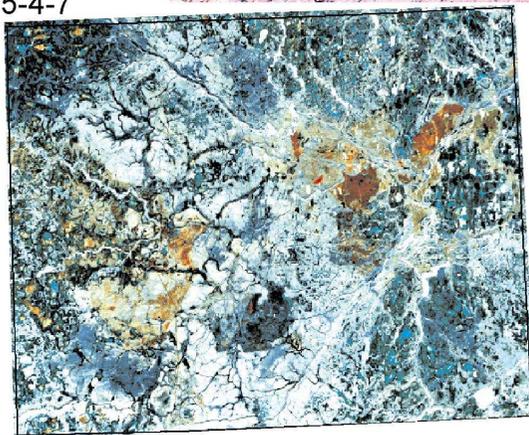
7-5-3



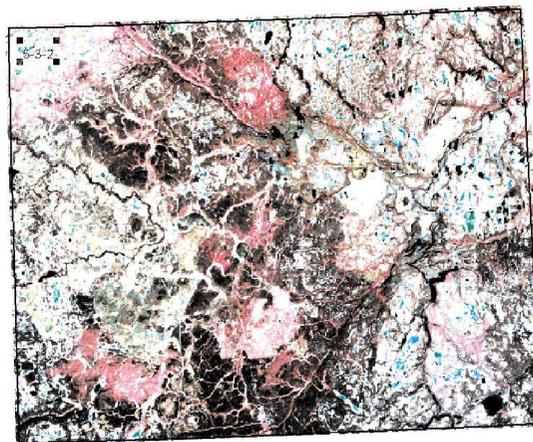
7-6-3



5-4-7



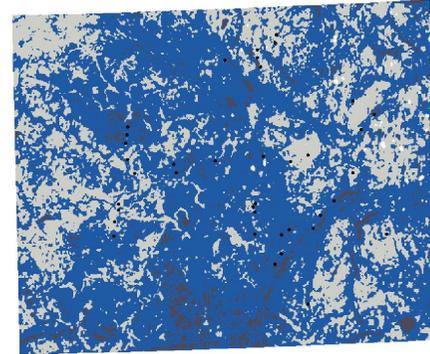
7-5-3



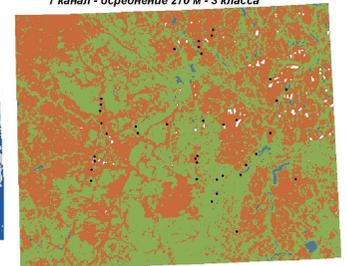
Зимнебережное мегаполе

Варианты **синтеза** и **кластеризации** спектральных каналов, позволяющие по изменению цветовых и тоновых характеристик выявлять различия в строении блоков и фиксировать их границы.

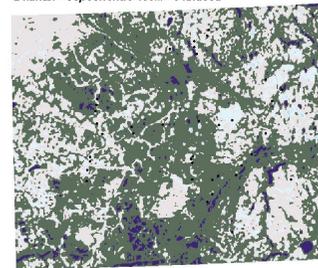
3 канал - осреднение 270 м - 3 класса



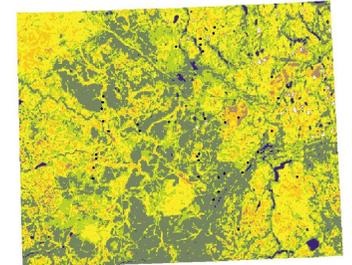
7 канал - осреднение 270 м - 3 класса



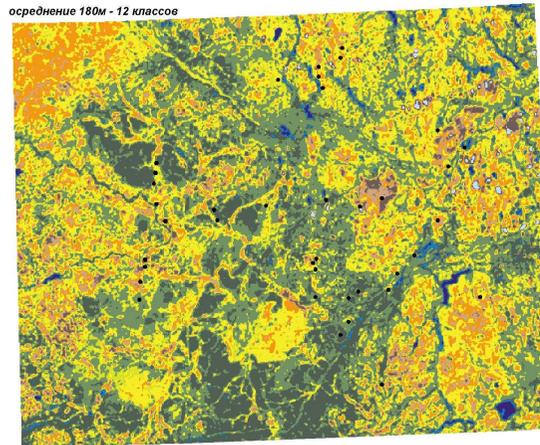
2 канал - осреднение 400м - 3 класса



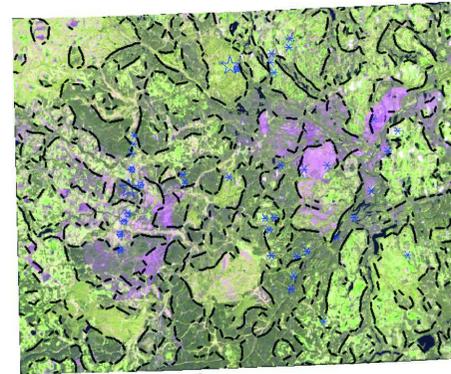
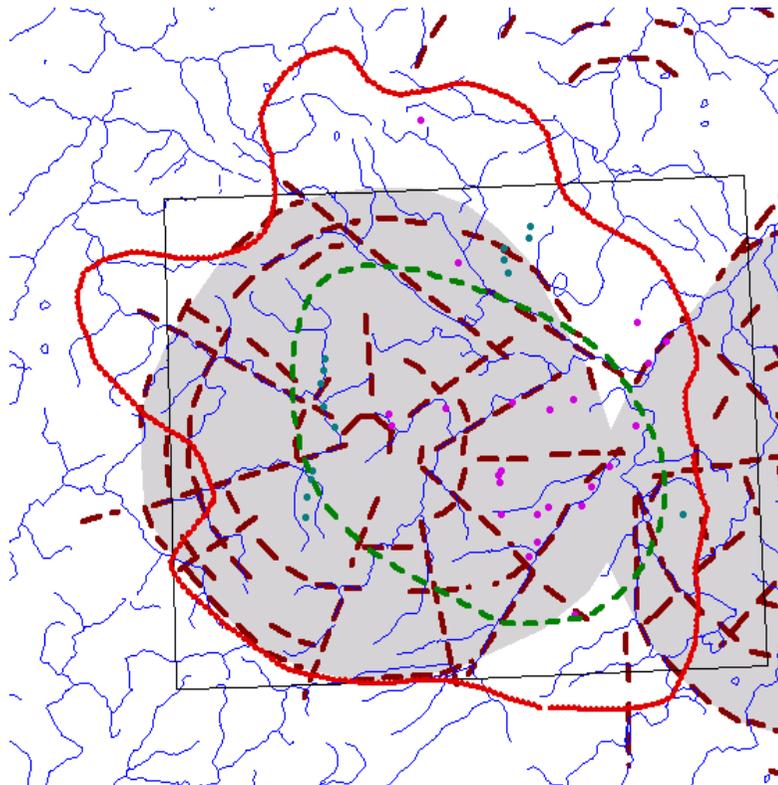
осреднение 270м - 7 классов



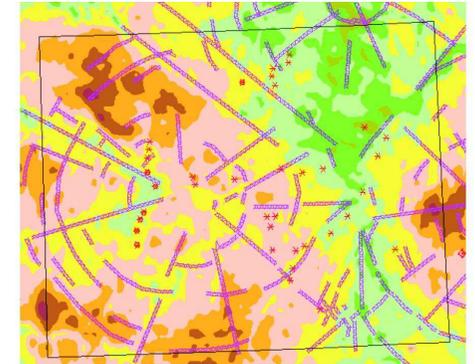
осреднение 180м - 12 классов



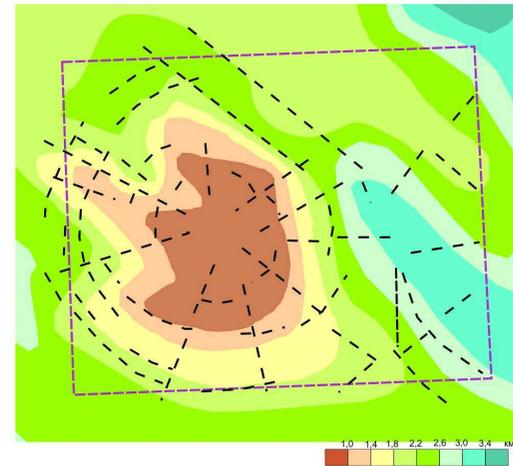
Пространственное совмещение образа радиально-кольцевой структуры (серый тон и коричневые структурные линии) с границами Зимнебережного кимберлитового поля по геофизическим данным (зелёный контур - проекция нижнекоровой физико-геологической неоднородности типа расслоенного базит-гипербазитового интрузива).



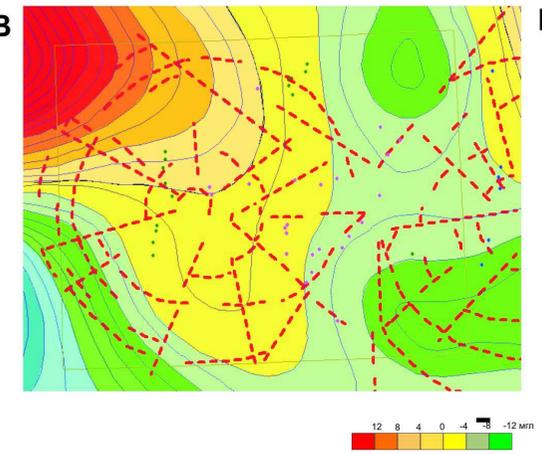
А - в типах растительности



Б - в современном рельефе

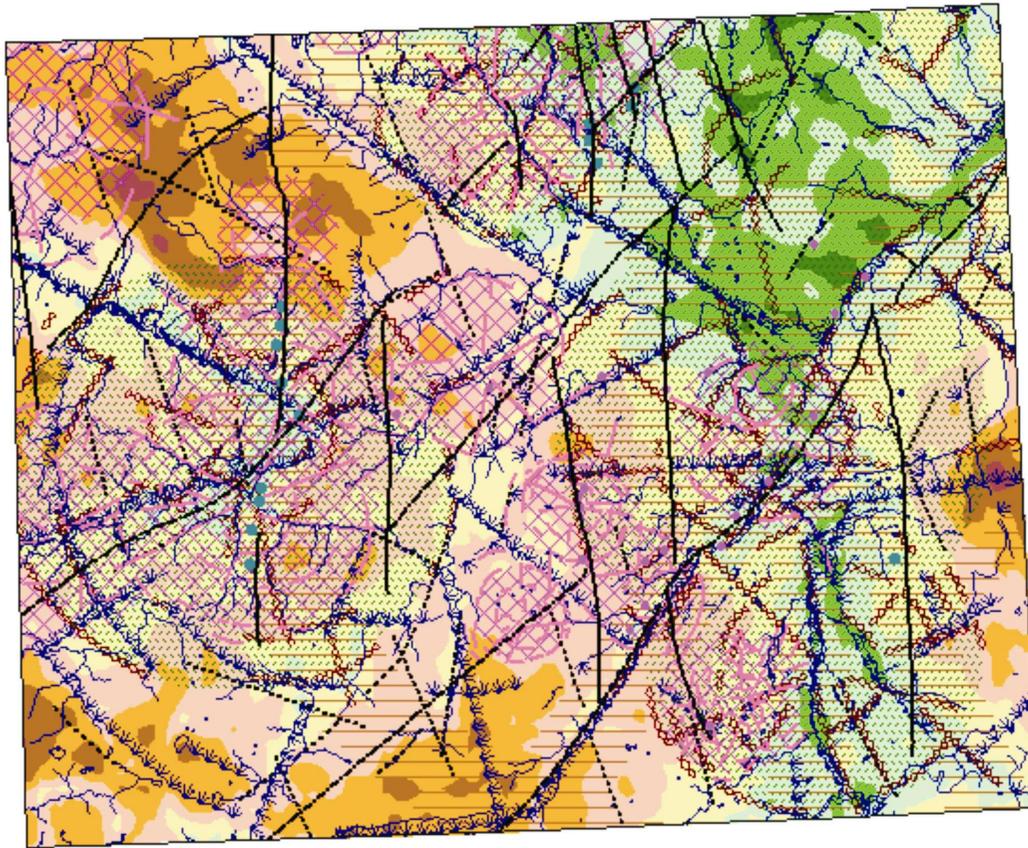


В - в рельефе кристаллического фундамента



Г - в осреднённом (R = 5 км) гравитационном поле

Образ радиально-кольцевой структуры, проявляющей нижнекоровый очаг активизации в растительном ландшафте (А), современном рельефе (Б), рельефе фундамента (В) и осреднённом гравитационном поле.

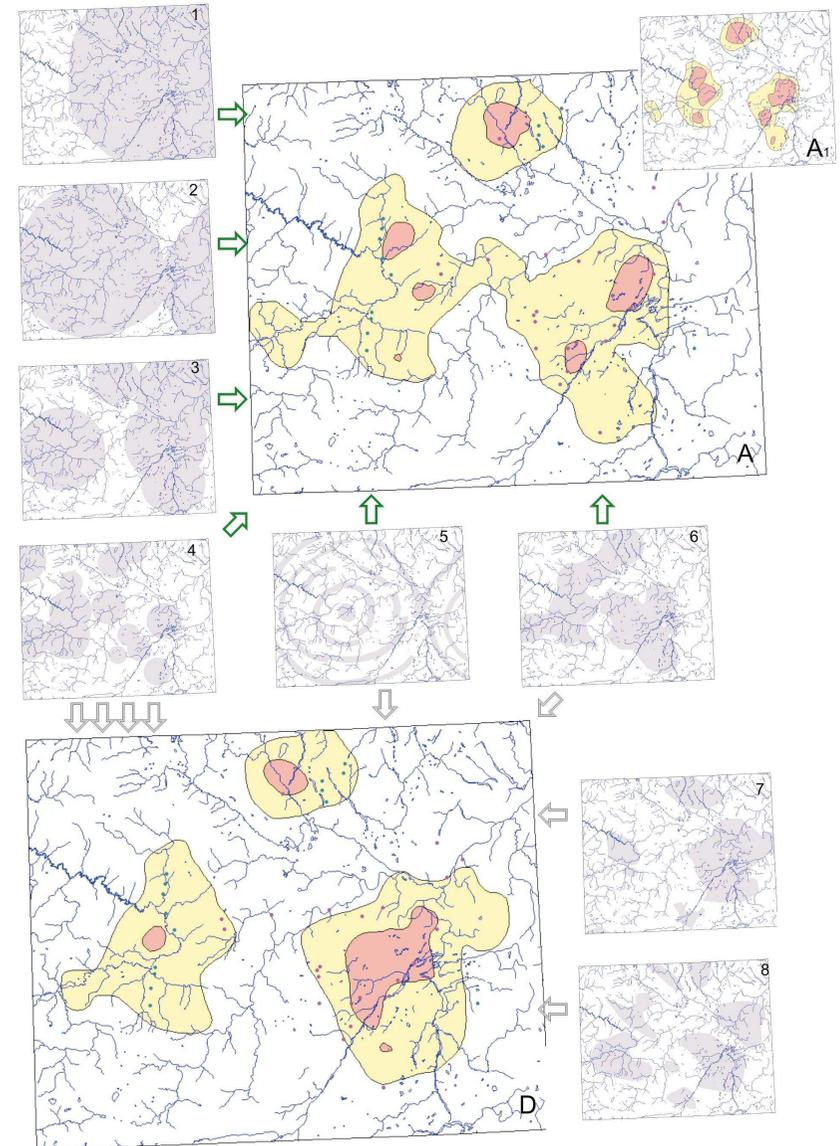


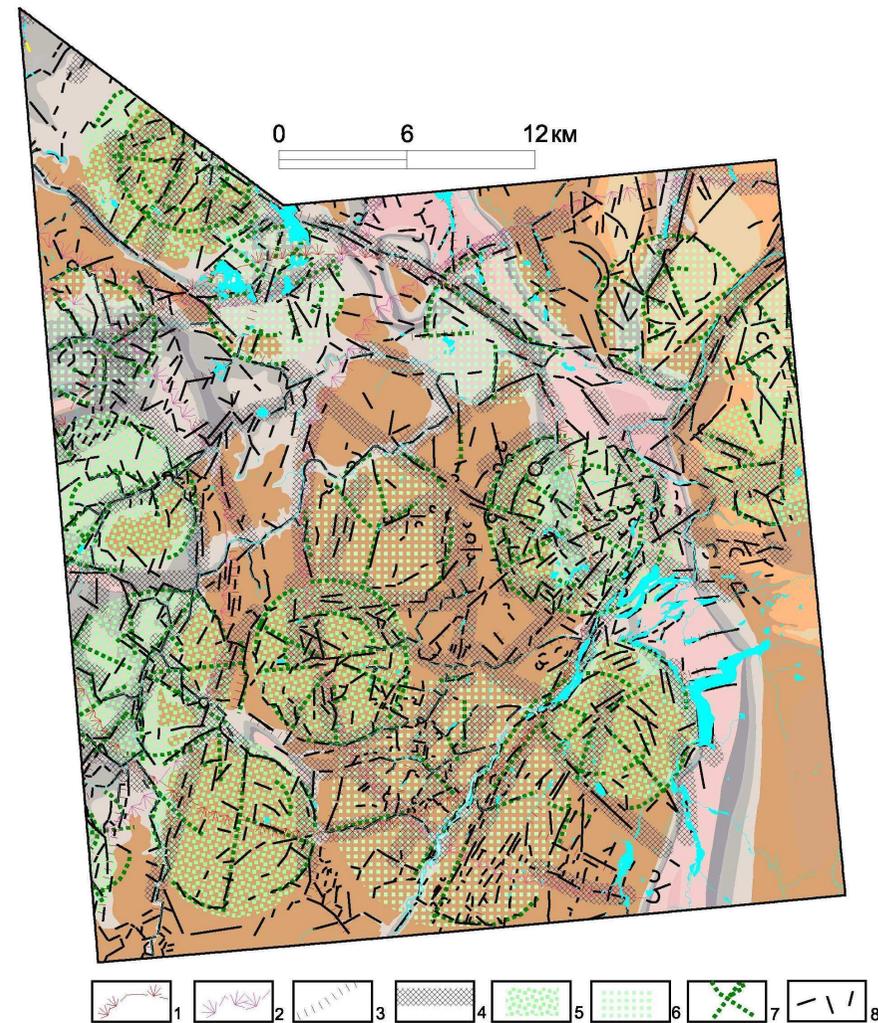
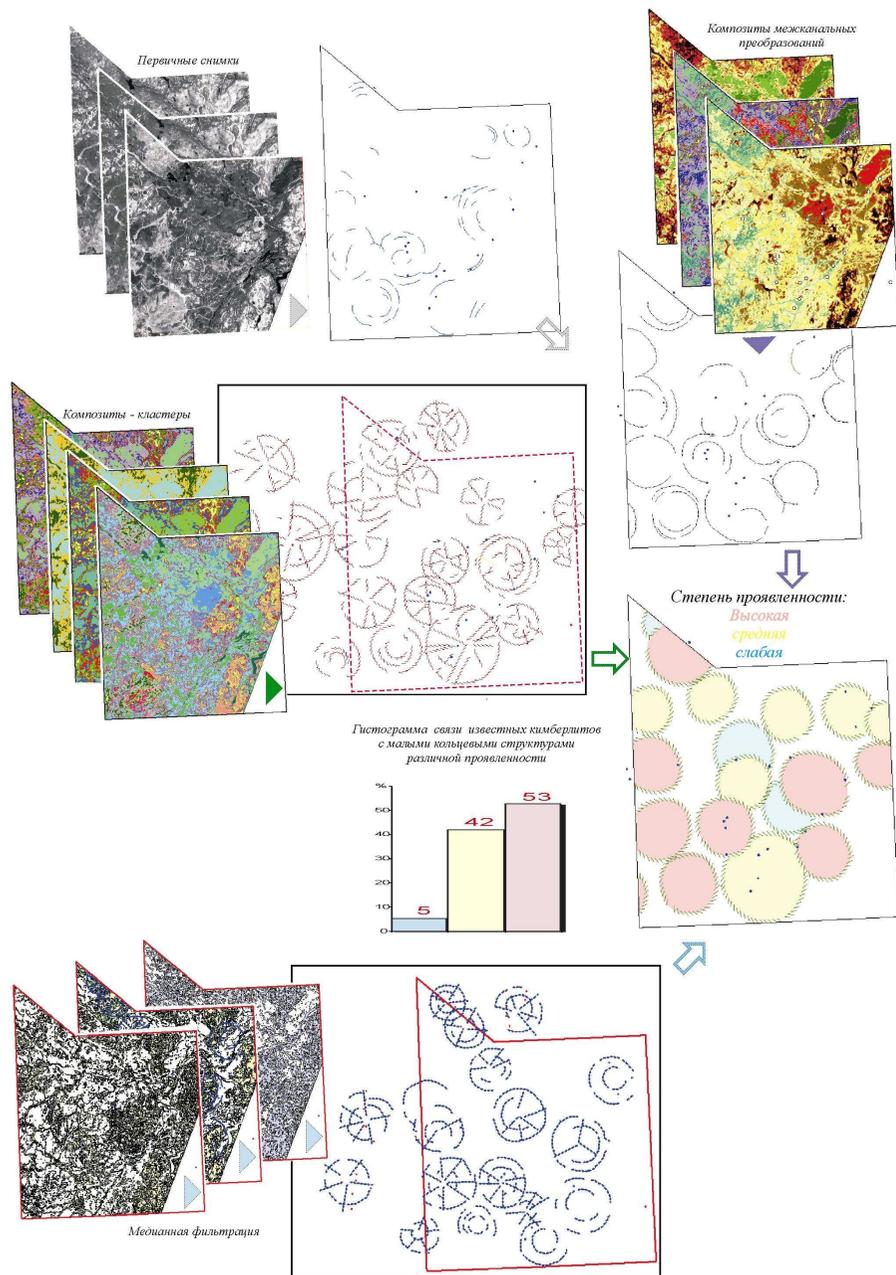
Специализированная космоструктурная карта Золотица-Кепинской площади.

1 – радиальные и дуговые зоны, проявляющие фрагменты Зимнебережно й радиально-кольцевой структуры, обязанной подкоровому очагу активизации (выделены по материалам более низкого ранга); 2 – радиальные и дуговые элементы, проявляющие нижнекоровую активизационную структуру; 3 - радиальные и дуговые элементы, проявляющие среднекоровые активизационные структуры; 4 - площадной образ этих структур; 5 - радиальные и дуговые элементы, проявляющие верхнекоровые активизационные структуры; 6 - площадной образ этих структур; 7 - секущие разломы; 8 – разломы по данным ЦНИГРИ; 9 известные кимберлитовые тела.

Участки благоприятные для локализации полей кимберлитового магматизма по комплексу космических (А) и космических+ геофизических (D) признаков

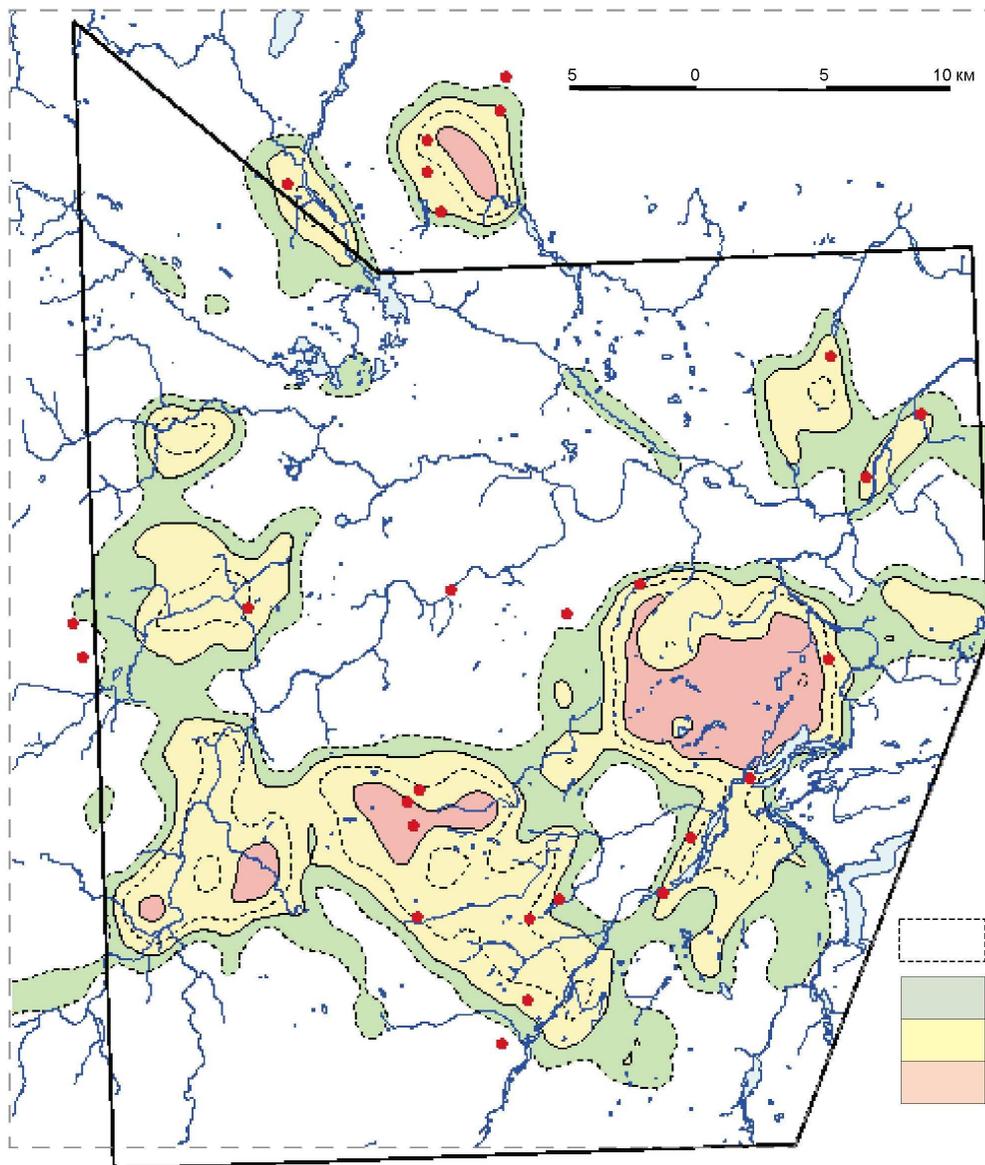
(жёлтый цвет - аномальные суммы признаков $[x+\sigma]$, красный - $[x+2\sigma]$)





Космоструктурная схема Кепинской площади (на геологической основе)

1 – контуры Кепинского очага среднекоровой активизации на поверхности; 2 – контуры Золотицкого, Верхотинского и Центрального очагов среднекоровой активизации; 3 - оси зон микролинеаментов близкого простирания, выделенные при визуальном дешифрировании (приповерхностные разломы); 4 - зоны микролинеаментов, установленные при автоматизированном дешифрировании (тоже); Площади над верхнекоровыми очагами активизации: 5 - проявленные относительно хорошо; 6 – проявленные слабее; 7 - структурные элементы этих очагов; 8 – отдельные линеаменты.



**Участки
благоприятные для
локализации кустов
кимберлитового
магматизма по
комплексу
дистанционных
признаков**

1 – контур прогноза; 2 – благоприятные интервалы: зелёный – $(x + 0,5\sigma)$; жёлтый – $(x + \sigma)$; розовый – $(x + 2\sigma)$