

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

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

*Институт дистанционных исследований окружающей среды
117105 Москва, Варшавское шоссе, 4
E-mail: i-dios@yandex.ru*

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

- всестороннем изучении форм проявления признаков алмазных таксонов на эталонных площадях в материалах космического зондирования разного масштаба и вида;
- создании иерархического ряда прогнозно-поисковых моделей рудных таксонов, включающих только устойчиво встречающиеся в пределах нескольких эталонных площадей признаки;
- 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; последовательно локализовать перспективные площади на базе дистанционных материалов всё повышающейся детальности.

Большинство современных гипотез образования кимберлитов предполагает существование вертикально направленного физико-химического и динамического воздействия перемещающихся мантийных масс на вмещающую среду. В этом случае, локализованный участок их внедрения на некоторой глубине должен характеризоваться наличием среды, отличающейся от окружающей изменением структурно-тектонической обстановки и вещественных преобразований. Это подтверждают выполненные к настоящему времени разнообразные геофизические исследования в пределах известных алмазных площадей. В их контурах отмечено повышение скоростей сейсмических волн на границе Мохоровичича, различного рода деформации (прогибы, поднятия, смещения) в её поверхности, положительные структуры в рельефе кристаллического фундамента и в других внутрикоровых сейсмических границах, специфические искажения гравитационного и магнитного полей [1, 2].

Как показали наши исследования [3], наиболее реальными объектами дистанционного прогноза при оценке больших территорий (до миллиона кв.км) являются таксоны в ранге «район кимберлитового магматизма», которые маркируются радиально-концентрическими структурами «очагового» генезиса диаметром около 200 км. Они закономерно располагаются в узлах пересечения рифтогенов, развивающихся унаследовано по элементам радиально-концентрических систем планетарного и регионального ранга. Своим возникновением эти структуры обязаны сравнительно небольшим мантийным диапирам, позиция внедрения которых в земную кору подготовлена суммой всех предшествующих тектонических событий. Магматические и флюидные их отщепления предопределяют общую миграцию кимберлитов к поверхности, которая осуществляется пульсационно, с образованием промежуточных магматических очагов в земной коре. Очаговая активизация этих очагов сопровождается образованием в земной коре специфических структур-

ных форм, которые также проявлены в современных ландшафтах. Таким образом, таксоны в ранге «поле» целесообразно искать только в контурах районов, а «куст» - в контурах поля, где они локализируются в участках с достаточно стандартным набором структурных факторов. Поиски конкретных тел кимберлитов методами дистанционного зондирования возможны лишь при очень благоприятных геологических и ландшафтных условиях оцениваемых площадей (отсутствие перекрывающих отложений, отсутствие мощных кор выветривания, благоприятные формы растительности).

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 миллиона квадратных километров) по материалам низкого разрешения (космические снимки "Ресурс", "Modis"), визуализируются следы наиболее глубоких структур активизации. В рамках второго и третьего по материалам среднего и высокого разрешения (космические снимки «Landsat» и «Spot») в их пределах, уточняется позиция выделенных структур и визуализируются менее глубокие. В качестве вспомогательных используются цифровые рельефы и рисунки речной сети площадей, которые также получают дистанционными методами.

Состав работ для всех этапов 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 «комполит», получаемых при их трансформациях;
- ❖ обработку полученной информации качественными и количественными методами для выделения информативных признаков;
- ❖ визуализацию информативных признаков на специализированных космоструктурных картах;
- ❖ оконтуривание перспективных участков по аномальному присутствию вовлечённых в анализ благоприятных признаков;
- ❖ оценку позиции выделенных участков относительно других факторов, влияющих на алмазность кимберлитов, а также по условиям ведения поисков.

Ниже демонстрируются результаты подобной оценки Карелии, которая расположена на северо-западе Русской равнины в области восточного склона Балтийского моря.

Весь Северо-Западный регион России привлекает внимание геологов в последние десятилетия в связи с открытием в конце прошлого века здесь алмазных месторождений на Зимнем Берегу (Архангельская область) кимберлитов на Терском Берегу, в Финляндии (Каави-Куопио, Лентирь-Куусамо), лампроитов Костомукши, часть которых также содержат алмазы, но со значительно меньшими содержаниями. Использование традиционных методов поисков (магнитная съёмка, шлихоминералогический анализ) столкнулись здесь с большими трудностями из-за специфических геологических условий региона (сложный состав фундамента, развитие мощных ледниковых отложений).

В ландшафтном отношении регион представляет собой слабохолмистую местность с огромным количеством озерных котловин, скал, одиночных глыб и валунов, скоплений песка, глины, гальки в форме холмов и гряд разного простираения. Широко развиты четвертичные образования ледникового генезиса, скрывающие докембрийские комплексы на севере и в центре площади, платформенные фанерозойские формации на юге.

Рассматриваемая часть Балтийского щита составлена из фрагментов трёх крупных структурных областей - Карельского архейского кратона, Беломорского и Свекофенского поясов. Первый сложен гранито-гнейсами и до 20% его площади занимают зеленокаменные пояса, заполненные вулканогенно-осадочными комплексами разного состава. Беломорский пояс, фрагменты которого

расположены на северо-востоке площади, представлен метаморфическими комплексами архея. Свекофенский пояс, фрагменты которого занимают юго-западную часть площади, представлен метаморфизованными в амфиболитовой фации породами, которые полого надвинуты на юго-западный край Карельского кратона.

В течении архей-раннепротерозойской эпохи в регионе произошло формирование ряда интрузивных формаций. Это перидотит-пироксенит-норитовая расслоенных интрузий (PR_1); базальт-долеритовая (PR_1^2) пластообразных интрузий и крутопадающих даек; габбро-верлитовая (PR_1^2) линзообразных тел и даек; щёлочно-габброидная (PR_1^3); габбро-анортозитая и гранитов-рапакиви.

Глубинные разломы позднеархейско-раннепротерозойского времени представлены морфологически чётко выраженными дизъюнктивами сдвигового, покровно-надвигового, сбросового и раздвигового характера. Их признаками являются пегматитовые и кварцевые жилы, узкие зоны повышенной мигматизации и метасоматоза, аномальные направления кристаллизационной сланцеватости, линейные флексуры и складки. Проникают в земную кору и верхнюю мантию до определённых глубинных уровней, ниже которых начинаются области сплошного пластического течения масс горных пород (50 – 100 км).

В среднем и верхнем протерозое широко проявились горизонтальные подвижки, превратившие карельские подвижные пояса в систему крутопадающих чешуйчатых моноклиналей типа Имандроа-Варгужской зоны. В позднем протерозое разломообразование обусловило формирование крупных грабенов и авлакогенов, образующих единую палеорифтовую систему, наследующую с одной стороны структурный план складчатого основания платформы, а с другой контролирующую новообразованные структуры инверсионного типа (поднятия, валы) в фанерозойских толщах. На древнем основании в многочисленных грабенах и впадинах сохранились фрагменты протоплатформенных чехлов нижнепротерозойского и протерозойского возраста.

В рифее литосфера Карелии испытала растяжение, сформировались структуры Кандалакшского и Ладожского грабенов, произошло внедрение даек долеритов. Каледонский этап тектономагматической активизации отмечен проявлением ультраосновных (оливинитов, пироксенитов, щелочных пироксенитов) и щелочных (мельтейгитов, ийолиитов, уртитов, нефелиновых сиенитов) пород. Проявления магматизма герцинского этапа известны на Зимнем Берегу за пределами площади.

Анализ дистанционных материалов низкого разрешения показал, что в настоящее время отчётливо выраженных («открытых») разломов в пределах региона нет. Фиксируются фрагментами «скрытые» разломы, проявленные на поверхности в геологических формациях системами трещин, зонами рассланцевания и смятия. В рельефе и рисунке речных водотоков им соответствуют множество специфических признаков (уступы рельефа, гряды, изгибы русел рек и т.д.). В итоге в регионе выделено несколько протяжённых устойчивых зон линейных дислокаций различных направлений, которые, как показали результаты сопоставления их с данными анализа геофизических и геологических карт, отвечают наиболее глубинным и долгоживущим нарушениям земной коры региона.

Особое внимание при дешифровании и последующей обработке материалов было уделено поиску и визуализации радиально-концентрических структур диаметром 180-220 км и 70-80 км причиной возникновения которых считают [4-6] глубинные взрывы огромной мощности, обусловленные импульсивными подъёмами углеродно-водородных потоков в литосфере вследствие дегазации ядра Земли. Именно они приводили к образованию камер сжатия, а по периферии в окружающей среде- сферических зон дробления и трещинообразования. По степени проявления в ландшафте они разделены на три класса- проявленные во всех изученных материалах, только в двух или только в одном.

По результатам анализа построена космоструктурная схема региона масштаба 1:500 000, где отражена фактическая трещиноватость верхней и приповерхностной части земной коры; каркас крупнейших зон сквозкоровой трещиноватости; позиции подкоровых и нижнекоровых очагов ак-

тивизации, обеспечивающих энергетическую составляющую верхнепротерозойского и фанерозойского магматизма. Их контуры схематизированы, так как обусловлены суммой факторов, видимое выражение которых получено при анализе различных «композит» и промежуточных схем дешифрирования. Полностью в пределах Карелии находятся три структуры подобного рода – Онежская, Ладожская и Левушказёрская, причём первые две на 40 – 60% перекрыты современными озёрами. Ещё четыре (Липиринская, Терская, Онего-Двинская, Двино-Ненокская) представлены лишь фрагментами, так как их центры находятся за границами площади в Финляндии, на Кольском полуострове и в Архангельской области.

На основе дистанционной прогнозно-поисковой модели таксона «район» кимберлитового (лампроитового) магматизма выделены перспективные участки, размером в 10 -20 тысяч кв. км (рис. 1). Максимумы совпадения благоприятных факторов в их пределах не превышают значений $(x+2\sigma)$, что меньше чем в Восточной Сибири и на Зимнебережной площади. Площади, оконтуренные этой изолинией, не превышают 1% от первоначально оцениваемой, а изолинией $(x+\sigma)$ ограничиваются уже 16 %. В их пределах целесообразно проведение более детальных дистанционных работ следующих этапов для выделения более локальных участков возможной локализации таксонов в ранге «поле», а затем и «кусты» кимберлитового (лампроитового) магматизма.

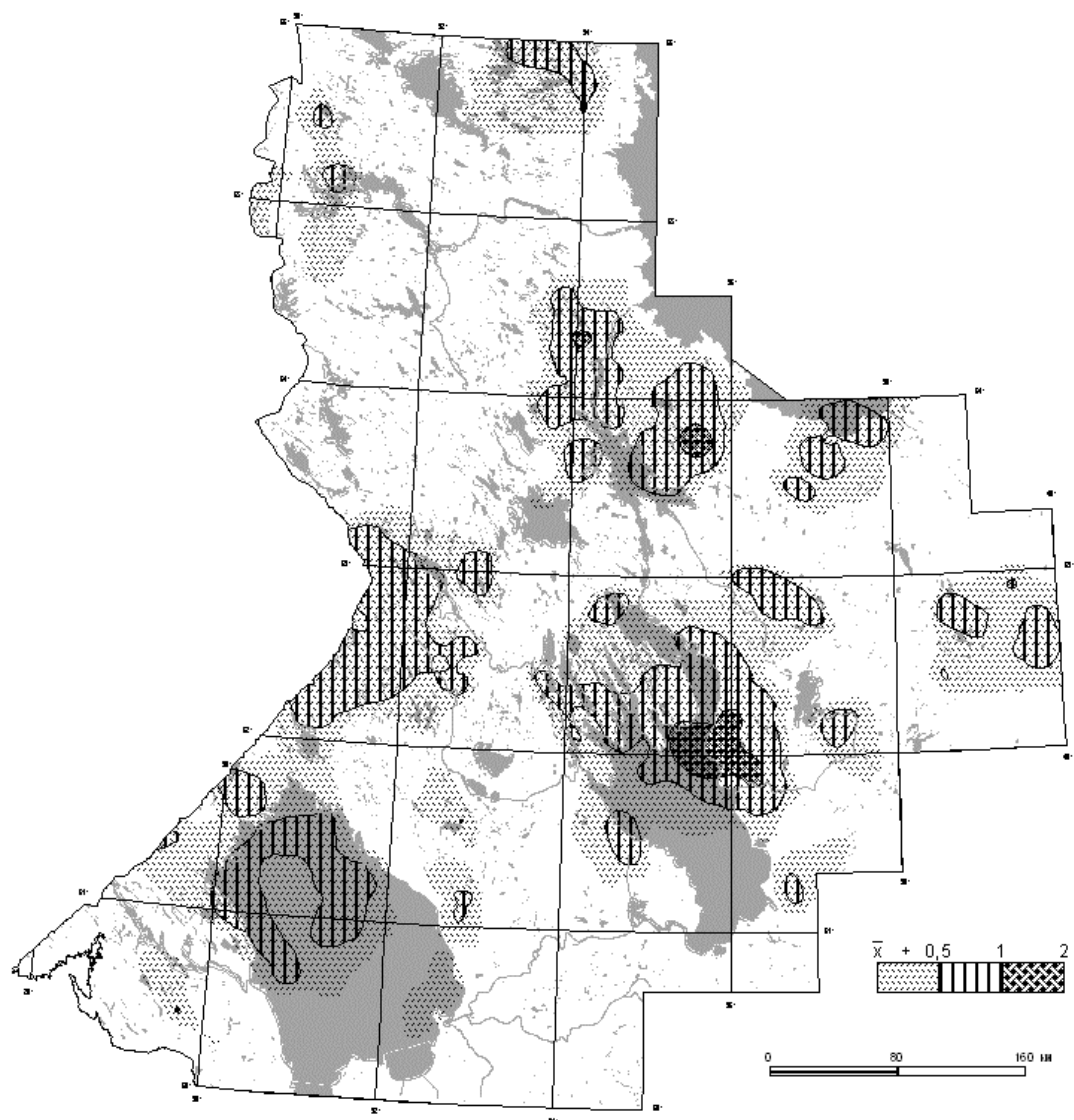


Рис. 1. Перспективные участки для проникновения к поверхности кимберлитоподобных пород по данным анализа дистанционной информации малого и среднего разрешения.

1 – участки с разной степенью перспективности от $(x + 0,5\sigma)$ до $(x + 2\sigma)$

На рис. 2 приведены результаты последовательной локализации перспективных участков в Зимнебережном районе, где уже обнаружены и промышленно алмазоносные, и пустые кимберлиты. На схеме А показаны результаты оценки площади в 40 000 кв. м, где изолиниями со значениями $x+\sigma$, $x+2\sigma$ и $x+3\sigma$ околтурены участки аномального присутствия благоприятных признаков районного ранга.

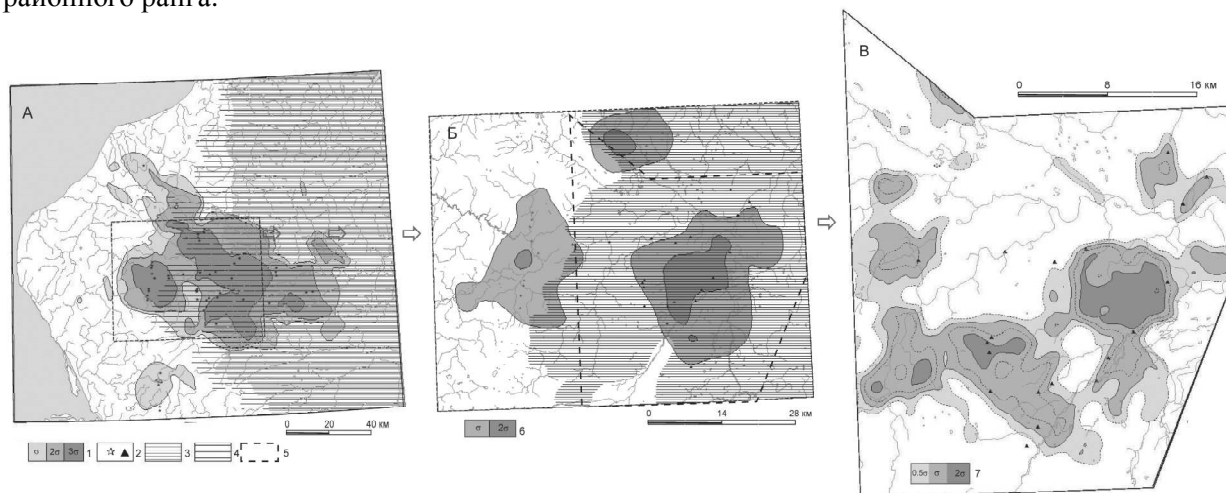


Рис. 2. Пример последовательной локализации перспективных для поисков кимберлитов участков в ранге «район» (А), поле (Б) и «куст» (В) кимберлитового магматизма на Зимнем берегу. 1 – области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков по данным анализа дистанционных материалов малого разрешения (таксон в ранге «район»); 2 – известные магматические тела (кимберлиты, пикриты, мелилититы). Посткимберлитовые платформенные отложения: 3 – пермские; 4 – каменноугольные; 5 – контур работ второго этапа; 6 – области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков по данным анализа дистанционных материалов среднего разрешения (таксон в ранге «поле»); 7 – области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков по данным анализа дистанционных материалов высокого разрешения (таксон в ранге «куст»)

Схема Б демонстрирует результаты более детальных работ на площади в 6 000 кв. км, которая полностью охватывает проекцию на поверхности нижнекоровой структуры активизации, находящейся, вероятно, на глубине около 25 км. Основным объектом визуализации на этом этапе являлись радиально-кольцевые структуры диаметром около 30 км, которые проявляют позицию среднекоровых очагов активизации. Изолинией ($x+\sigma$) аномального совпадения благоприятных признаков здесь околтурено три обособленных участка. Два пространственно совпадает с известными Золотицким и Верхотинским кимберлитовыми полями, третий значительно больший по размерам отвечает Кепинскому полю в его современном понимании. Вполне вероятно, что в его пределах совмещено несколько разновозрастных очагов активизации, что и обусловило его сложное строение.

На схеме В показаны результаты ещё более детальных дистанционных работ на площади в 3000 кв. км, которая полностью перекрыта посткимберлитовыми осадками мощностью в 60 - 100 м. Известные кимберлитовые тела здесь сгруппированы в ряд кустов, которые изучаются с помощью скважин. По данным гравитационного моделирования масштаба 1: 200 000 (подбор геоплотностных разрезов в диапазоне глубин 0-25 км) пространственно они [3] ассоциируются с локальными купольными структурами в кровле транскоровой физико-геологической неоднородности, которые интерпретируются как скрытые на глубине 2-4 км локальные ареалы базит-гипербазитового магматизма. Отражение этих структур в современном ландшафте неустойчивое и их визуализация достигается при комплексном анализе множества «композит» и схем визуального и компьютерного дешифрирования. Космоструктурная схема масштаба 1:100 000 даёт доста-

точный материал для прогнозно-поисковой модели таксона в ранге «куст» кимберлитового магматизма.

Таким образом, приведённый материал свидетельствует о возможности и необходимости использования дистанционных методов при прогнозе и поисках коренных алмазных месторождений, что повышает их экспрессность и значительно уменьшает затраты.

Литература

1. Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А. Стадийная технология ведения геологоразведочных работ на алмазы на Восточно-Европейской платформе - Сб. Геология алмаза – настоящее и будущее - Воронеж, 2005.
2. Прусакова Н.А. Геолого-геофизическая прогнозная модель Зимнебережного кимберлитового поля. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, 2004.
3. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зувев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов // М.: Недра, 2001.
4. Маракушев А.А. Рудоносность взрывных кольцевых структур // Геология рудных месторождений, 1996. Т. 38. № 6.
5. Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения // Советская геология, 1968. № 9. С.73-86.
6. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А. и др. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений // М.: Недра, 1974.