

Выявление индикационных признаков площадей перспективных на поиски коренных источников алмазов в условиях Архангельской алмазоносной провинции

Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова, М.Ю. Гофаров

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН
163600 Архангельск, Наб. Северной Двины, 23
E-mail: kutinov@iepn.ru*

Предложен в качестве промежуточного объекта поиска кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции – тектонический узел. Наши данные свидетельствуют о наличии воздействия тектонических нарушений на окружающую среду за счет возникновения наведенных магнитотеллурических токов, глубинной дегазации и изменения структуры барического поля. На основе собственных наземных исследований и дешифрирования космоматериалов выделены критерии этого таксона.

Ключевые слова: Архангельская алмазоносная провинция, трубка взрыва, тектонический узел, поисковые признаки.

Введение

Открытие в 80-х годах прошлого века кимберлитового магматизма на севере Русской плиты вызвало повышенный интерес к региону, что нашло свое отражение в возросших объемах работ, посвященных вопросам прогнозирования, разработке рационального комплекса геолого-геофизических методов и выделения поисковых критериев для трубок взрыва. Закономерности пространственного размещения и факторы локализации кимберлитов до последнего времени рассматривались, как правило, безотносительно к таксономическим единицам кимберлитового магматизма, лишь с географической привязкой площадей распространения этих пород. Такое положение нашло свое отражение в практике геологопоисковых работ, где практически на всех стадиях исследований объектами поисков были кимберлитовые тела. Геологическая эффективность работ достигалась за счет увеличения объемов и детальности высокоточных крупномасштабных аэромагниторазведочных работ. Результаты такого экстенсивного подхода не замедлили сказаться резким снижением числа открываемых объектов, в первую очередь, промышленно значимых, и значительным ростом количества «пустых» локальных магнитных аномалий. В то же время, анализ показал, что возможен пропуск до 20% тел (Кутинов, Чистова, 2004) и необходим новый подход к поискам трубок взрыва.

С целью выделения трубок по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на территории Зимнебережного кимберлитового района использовались материалы аэрофотосъемок м-ба 1:100000 – 1:500000, космоматериалы низкого (Ресурс, MODIS) и среднего (Landsat, Spot) разрешения в оптическом диапазоне и радиолокационные данные (сантиметровый и дециметровый диапазоны). Обычно при выделении кимберлитовых тел по данным ДЗЗ используются два подхода: выделение самих тел и/или выделение кимберлитовых полей и районов.

Попытка использовать первый вариант практически не дала никаких результатов, что связано с физико-географическими особенностями территории и размерами поисковых

объектов. Район исследований характеризуется широким развитием растительного покрова (среднетаежная подзона северной тайги), слабой расчлененностью и «молодостью» рельефа, обусловленной широким распространением валдайского оледенения, большой мощностью перекрывающих четвертичных отложений (40-200 м). В совокупности с небольшими размерами трубок взрыва (200x200 м) – это значительно затрудняет дешифрирование ДЗЗ для задач поиска кимберлитов.

Выделение кимберлитовых полей по данным ДЗЗ обычно базируется на «внутренних» эталонах – уже известных полях. Но следует отметить, что задача, связанная с выделением таких таксонов как кимберлитовые поля, чрезвычайно сложна. Под названием «кимберлитовые поля» обычно понимаются сближенные в географическом отношении группы трубок взрыва и даек, которые очерчиваются контурами, не имеющими достаточного геолого-геофизического обоснования (Кутинов, Чистова, 2004). Основным недостатком такого подхода в отсутствии геолого-структурных принципов и критериев районирования. Границы таксонов обычно проводятся условно на произвольном расстоянии от крайних выходов этих пород. То есть до сих пор отсутствует сформированное на основе традиционных структурных методов понятие «поле».

Поэтому необходимо переходить к другим таксонам, имеющим фиксируемые применяемыми методами структурные очертания и, соответственно, признаки, выделяемые в космоматериалах.

Методы

Ограниченная обнаженность территории значительно затрудняет систематическое площадное изучение тектонического строения прямыми геологическими методами. Построенные разными авторами мелкомасштабные карты и схемы блоковой тектоники региона, несмотря на существенное сходство, несут и определенные принципиальные различия не только в определении генезиса и истории развития структур, но и в их пространственном размещении. Особенно наглядно это проявляется при сравнении карт, построенных по результатам дешифрирования космофотоматериалов и геоморфологических исследований, и карт интерпретации геопотенциальных полей. К тому же существует мнение, что после валдайского оледенения рельеф не достиг той стадии «зрелости», когда в нем проявляются тектонические нарушения фундамента и осадочного чехла.

С целью уточнения пространственного размещения разрывных структур нами была построена карта расположения систем разломов масштаба 1:1000000 на территорию Архангельской области и 1:200000 на территорию Зимнебережного кимберлитового района.

В основу построений была положена ротационная гипотеза (Тяпкин, Кивелюк, 1982), значительно дополненная и расширенная авторами (Кутинов, Чистова, 2004). Применяемая методика позволяет объединять результаты изучения поверхностных и глубинных структур. Используемые приемы достаточно подробно изложены в работе К.Ф. Тяпкина (Тяпкин, 1986).

Построения сводились к следующему: выделение устойчивых азимутов простираения линейных элементов; построение карт индикаторов разломов; построение карт расположения систем разломов. Исходным материалом служили: карты потенциальных полей масштаба 1:200000, уменьшенные до масштаба 1:1000000; карта результатов дешифрирования космоснимков масштаба 1:1000000; топокарты масштаба 1:1000000.

На первом этапе проводились замеры длин и азимутов линейных элементов, по результатам которых строились гистограммы и розы-диаграммы. Так как ориентировка многих линейных элементов не всегда точно совпадает с простираем тектонических границ, истинные азимуты разломов определялись как средние по максимумам на розах-диаграммах (радиус/угол осреднения – 3-5°).

При составлении карт индикаторов по ранее выделенным направлениям выносились индикаторы тектонических структур. К ним относились спрямленные участки гидросети, космофотолинеаменты, а в потенциальных полях - градиентные ступени, оси линейных аномалий, зоны потери корреляции и границы областей с разной морфологией поля. Затем проводилось объединение линейных элементов по участкам сгущения индикаторов и построение карты расположения систем разломов, что позволяло выделять дизъюнктивы как геологические тела, то есть оценить одну из важнейших характеристик разрывных нарушений – их ширину.

Методика выделения разломов, предложенная К. Ф. Тяпкиным, была разработана и апробирована на территории Украинского кристаллического щита. В ней в качестве основной рассматривалась только карта расположения систем разломов, а остальные материалы, полученные в процессе обработки, использовались только на начальном этапе и в дальнейшем не рассматривались. Учитывая, что исследуемый регион характеризуется широким развитием осадочного чехла, авторы сочли должным использовать в качестве самостоятельных и основных материалов также розы-диаграммы и карты элементов-индикаторов разломов (Кутинов, Чистова, 2004). Полученные материалы, дополненные розами-диаграммами частот встречаемости элементов-индикаторов и графиками азимутального распределения средних длин последних, позволяют сделать выводы не только о закономерностях пространственного размещения дизъюнктивов и их соподчиненности, но и о физической форме разрывных нарушений на разных структурных этажах и о преобладающих режимах тектонического развития разломно-блоковых структур региона.

Для построения геоинформационной модели растительного покрова использовались два летних (2000 и 2001 г.) снимка спутника «Landsat-7». Перед дешифрированием была проведена цифровая коррекция данных для улучшения контрастности изображения путем линейного растяжения и эквализации гистограмм. Для уменьшения шумов использовались локальные линейные фильтры низких частот с размерами матрицы 3x3 и 5x5 (Гофаров и др., 2006).

Для дешифрирования растительности использовалось синтезированное изображение третьего (0.63 – 0.69 мкм) и четвертого (0.75 – 0.90 мкм) каналов снимка (Гофаров и др., 2006). Спектр отражения растительного объекта обладает двумя зонами, в целом совпадающими с выбранными каналами снимка. Одна из этих зон определяется полосой поглощения хлорофилла (длина волны 0.55-0.70 мкм), а вторая – особенностями внутриклеточного строения листьев (0.75-0.90 мкм). Из-за 30-метровой разрешающей способности использованных данных ДЗЗ реально наблюдаемым оказывается не спектр крон отдельных деревьев, а интегральный спектр некоторого участка местности, сравнимого по размерам с разрешающей способностью (то есть единичным пикселем) снимка. Таким образом, реально возможно изучение только суммарного спектра отражения целого растительного сообщества.

При исследовании структуры растительного покрова использован кластерный анализ без обучения. Кластерный анализ данных ДЗЗ выполнялся с применением модулей ГИС-пакета GRASS 5.0.3 *i.cluster* (выделение классов спектральной яркости методом кластерного анализа без обучения) и *i.maxlik* (определение соответствия каждого из пикселей изображения ранее выделенным классам спектральной яркости методом максимального правдопо-

добия). В результате было выполнено разбиение территории на восемь классов спектральной яркости и проведена классификация яркостных классов лесной растительности.

Результаты

Сопоставление роз-диаграмм, построенных по территории Архангельской области (рис. 1) (в рамках трапеции Q-37-38, P-37-38) и отдельных ее частей, а также различных регионов бывшего СССР (Кутинов, Чистова, 2004), позволяет сделать вывод о том, что мы имеем дело с универсальным свойством геокинематики недр, то есть деление земной коры, во всяком случае, с архея происходило по одним и тем же системам разломов.

Статистический анализ азимутального распределения признаков разломов в физических полях и в природной обстановке показал, что одни и те же направления имеют максимальное представительство на космофотоснимках и в геоморфологических материалах, отражающих современные напряжения в земной коре, и в потенциальных полях, фиксирующих в основном строение докембрийского фундамента региона (рис. 1). Этот факт говорит об определенной «консервативности» разрывных дислокаций и о длительной истории их развития, что, несомненно, нашло свое отражение в строении осадочного чехла, и было подчеркнуто экзогенными процессами. Это обеспечило проявление практически всех тектонических систем коренных пород на дневной поверхности.

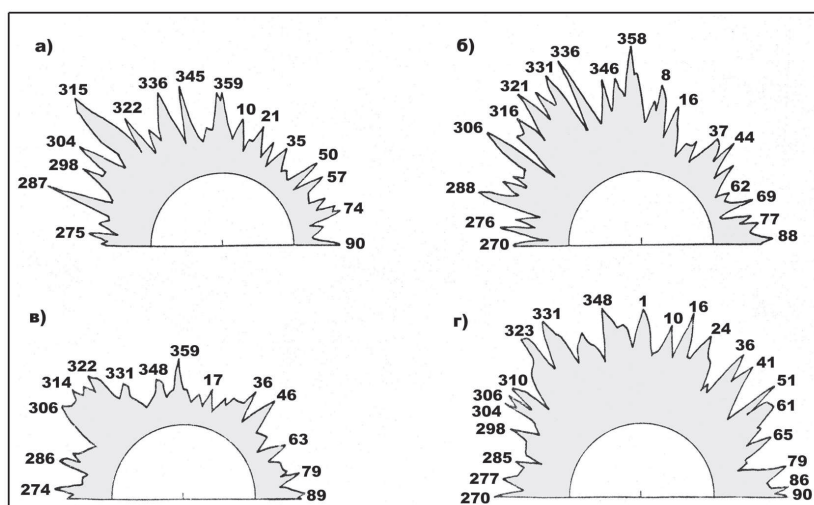


Рис. 1. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов территории Архангельской области (обработка данных масштаба 1:200000): А – поля силы тяжести; Б – магнитного поля; В – космофотолинеаментов; Г – гидросети (Кутинов, Чистова, 2004)

По карте систем разломов выделялись узлы пересечения тектонических нарушений, и проводилась оценка связи трубок взрыва с тектоническими узлами. Для этой цели было подсчитано количество тел, приуроченных к узлам пересечения 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти, 6-ти и более тектонических зон; определены площади, занимаемые узлами; оценена их перспективность в зависимости от количества пересечений. При этом получены следующие выводы: а) наиболее перспективными являются узлы с количеством пересечений 3 и более; б) трубки взрыва алмазоносных кимберлитов приурочены к пересечению, как минимум, 4-х разрывных нарушений, и общая площадь таких узлов на территории Зимнебережного кимберлитового района составляет всего 4.5% (узлы, включающие 5 и более пересечений, занимают только 1.5% площади) (рис. 2).

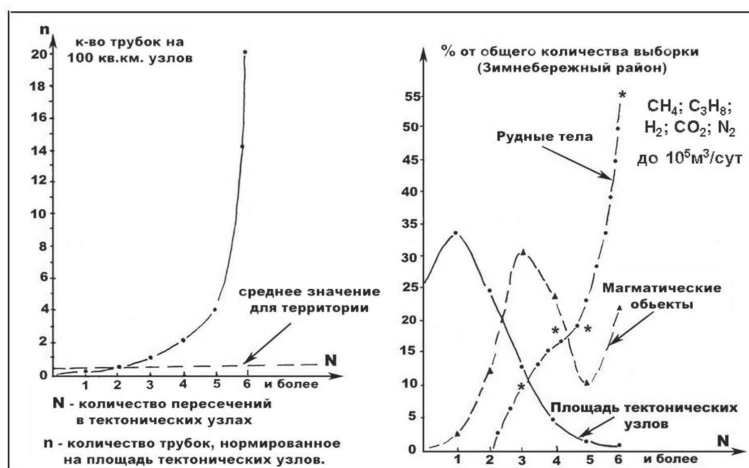


Рис. 2. Характер распределения трубок взрыва в тектонических узлах (Кутинов, Чистова, 2004)

Следует отметить, что выделенные тектонические узлы не являются аналогами аномалий повышенной плотности линеаментов, так как при их построении в полной мере использовались геолого-геофизические материалы, а не только результаты дешифрирования.

Далее был проведен анализ площадной структуры растительного покрова в зависимости от степени дезинтеграции земной коры на основе данных дистанционного зондирования Земли (2 спектрональных снимка «Landsat-7» за 18.07.2000 г. и 12.07.2001 г.). В результате было выявлено, что растительный покров участков с небольшим числом тектонических пересечений (0-4), достаточно сходен и практически совпадает со средними значениями для всего Зимнебережного района. В зонах с максимальной раздробленностью (5 и более) наблюдается изменение структуры растительности, выраженное в увеличении доли еловых лесов на 20% по сравнению с другими территориями за счет снижения доли мелколиственных лесов (рис. 3).

Проведенные авторами наземные исследования в узлах тектонических нарушений показали, что с ними связано аномальное протекание ряда процессов (Кутинов и др., 2009):

- над тектоническими узлами наблюдается постоянный «дефицит» атмосферного давления. Графики последнего имеют характерную форму – максимум в центре и минимумы по периферии узлов (рис. 4). Сопоставление данных атмосферного давления с высотными отметками дневной поверхности (синхронные замеры атмосферного давления, координат точек и их высотных отметок) показало отсутствие значимых корреляционных связей между ними;
- частота выпадения осадков и их количество в центре и на периферии узлов пересечений тектонических дислокаций, которые территориально совпадают со статичными минимумами атмосферного давления, существенно различаются. Осадки в центре тектонических узлов выпадали значительно реже, а их количество на 26 % меньше;
- выпадение снежного покрова на периферии узлов происходит раньше (при большей глубине снежного покрова), а стаивание – позже, чем на фоновых территориях (по данным панхроматической съемки со спутника Монитор-Э);
- наблюдается глубинная дегазация по периферии узлов;
- по предварительным данным с этими же участками связано повышенное количество гроз и, соответственно, лесных пожаров.

Таким образом, помимо изменения структуры растительного покрова, в качестве дешифрировочных признаков могут применяться характеристики снежного покрова, повышенная увлажненность почв, иной характер облачности, плотность лесных пожаров и т.п.

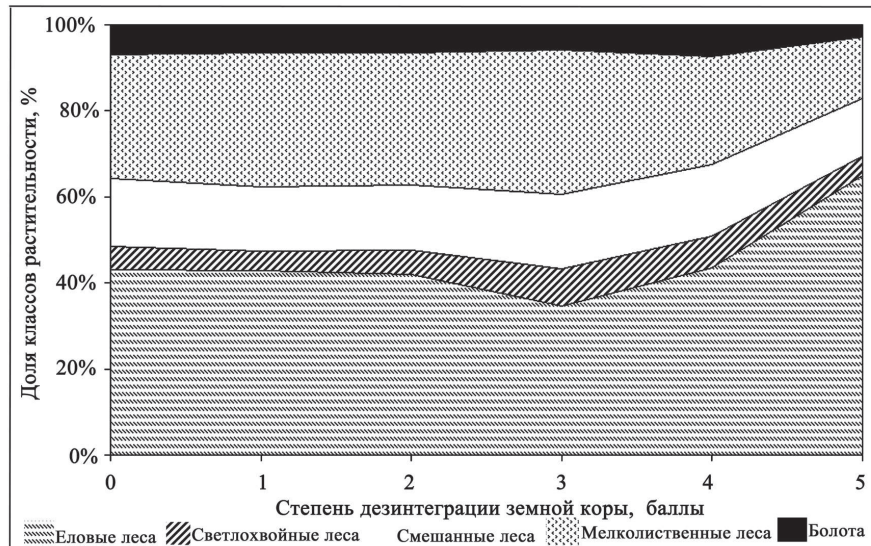


Рис. 3. Изменение площадной структуры растительного покрова Беломорско-Кулойского плато (%) на участках проявления некоторых геолого-геофизических факторов (Гофаров и др., 2006)
 По вертикальной оси – доля классов растительности в %; по горизонтальной: I – зоны с максимальной степенью дезинтеграции земной коры (5 баллов); II – вся территория Беломорско-Кулойского плато; III – зоны высоких значений конвективного теплового потока
 1 – болота; 2 – светлохвойные леса; 3 – смешанные леса; 4 – мелколиственные леса; 5 – еловые леса

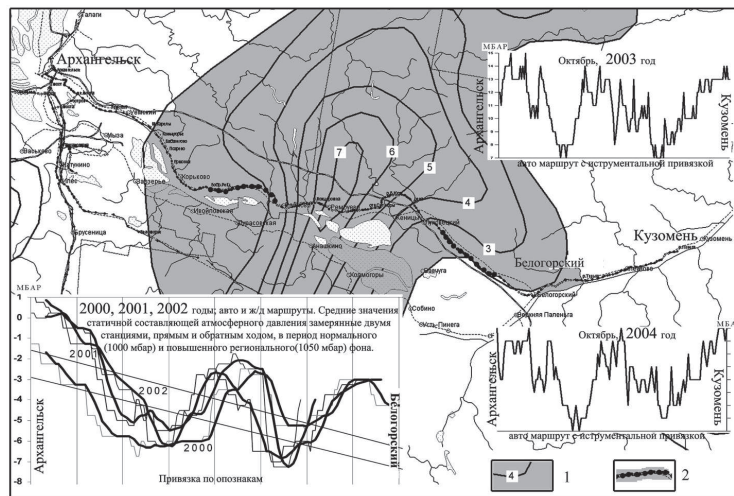


Рис. 4. Строение статичных атмосферных минимумов в тектоническом узле
 По вертикальной шкале на графиках – приращение атмосферного давления в мбар
 1 – изолинии плотности тектонических нарушений на площади тектонического узла;
 2 – участки резкого понижения значений атмосферного давления

Заключение

Предлагаемая методика прогноза включает: первый этап – выделение узлов пересечения разнорезимных тектонических нарушений, совпадающих с региональными участками повышенной дисперсии потенциальных полей; второй этап – выделение в их пределах узлов пересечений более высокого ранга, совпадающих с локальными участками повышенной дисперсии потенциальных полей; третий этап – разбраковка выделенных участков с учетом дополнительных признаков, таких как наличие минералов-спутников алмаза

(пиропы, диопсиды и т.п.); наличие геохимических кимберлитовых элементов (титан, ванадий, никель, кобальт); наличие локальных магнитных аномалий. Данная методика является единой для всех уровней контроля кимберлитового магматизма: исследуя субпровинцию, на первом этапе выделяем районы, на втором и третьем - поля; исследуя район, на первом этапе выделяем поля, на втором и третьем - кусты и, возможно, трубки взрыва. Узлы могут выделяться в материалах тепловой съемки аномалиями конвективного теплового потока (NOAA), иным типом растительности (преобладание еловых лесов, Landsat-7), повышенной увлажненностью почв по периферии (радиолокационные съемки), своеобразным рисунком гидросети, огибающим центр узла, особым типом облачности (Meteosat), возможно вертикальным столбом ионизированного воздуха и подтоком глубинных газов.

Работа поддержана Программой ОНЗ РАН № 9 «Межгеосферные взаимодействия», проект «Изучение процессов взаимодействия геосфер в активных геологических структурах на севере Русской плиты»

Литература

1. Гофаров М. Ю., Болотов И. Н., Кутинов Ю. Г. Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров // Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 167 с.
2. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Беляев В. В., Бурлаков П. С. Влияние тектонических нарушений (дегазация, наведенные токи, вариации) севера Русской плиты на окружающую среду (на примере Архангельской области // Вестник КРАУНЦ, Науки о Земле, 2009. Вып. 14. С. 77-89.
3. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах // Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2004. 283 с.
4. Тяпкин К. Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого- геофизическими методами // Киев: Наук. думка, 1986. 168 с.
5. Тяпкин К. Ф., Кивелюк Т. Т. Изучение разломных структур геолого- геофизическими методами // М.: Недра, 1982. 239 с.

Allocation of the indication criteria of the areas perspective on searches of original sources in conditions of Arkhangelsk diamonds provinces

Y. G. Kutinov, Z. B. Chistova, M. Yu. Gofarov

*Institute of Ecological Problems in the North of Ural Branches, RAS
163600 Arkhangelsk, Northern Dvina Emb, 23
E-mail: kutinov@iepn.ru*

It is offered as intermediate object of search kimberlitic pipe of Arkhangelsk diamond province – tectonic knot. Our data testify to presence of influence of tectonic dislocations on Environment due to occurrence induced currents, deep decontamination and change of structure atmospheric fields. On the basis of own land researches and interpretation of satellite data criteria of this taxon are allocated.

Keywords: Arkhangelsk diamond province, kimberlitic pipe, tectonic knot, search criteria.