

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 004.932.2

В.Т. Ишмухаметова¹

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Предложен принципиально новый метод выделения алмазоносных кимберлитовых трубок на фоне вмещающих их пород. Метод основан на дешифрировании многозональной космической съемки LANDSAT-7 ETM+ и позволяет локализовать наиболее перспективные площади на участках, выделенных другими методами. Показана эффективность применения ГИС-технологий для комплексного использования геологических, геофизических, минералогических данных и результатов дешифрирования материалов космической съемки при прогнозировании кимберлитовых месторождений алмазов как на изученных площадях, так и на новых территориях.

Ключевые слова: ГИС-технологии, многозональная космическая съемка, прогнозирование месторождений, кимберлитовые месторождения алмазов.

Essentially new method of allocation of diamondiferous kimberlite pipes against surrounding rocks is proposed. The method is based on interpretation of multispectral satellite images LANDSAT-7 ETM+ and allows to localize the most promising areas within perspective sites revealed by other methods. It was demonstrated that application of GIS-technologies for complex use of geological, geophysical, mineralogical data and results of interpretation of satellite images is efficient in forecasting kimberlite diamond deposits in both studied areas and poorly explored territories.

Key words: GIS-technologies; multispectral satellite images, forecasting mineral deposits, kimberlite diamond deposits.

Введение. На севере Сибирской платформы в Приленском районе Лено-Анабарской субпровинции насчитывается свыше 190 кимберлитовых тел среднепалеозойского и мезозойского возраста, подавляющее большинство которых неалмазоносны или характеризуются убогой алмазоносностью. Наличие в районе промышленных россыпей алмазов, источниками которых не могли служить известные слабоалмазоносные кимберлитовые тела, позволяет предполагать возможность обнаружения на этой территории богатых коренных источников.

На большинстве открытых площадей, благоприятных для проведения поисков коренных месторождений алмазов, соответствующие работы уже выполнены, поэтому ресурс объектов, выявляемых традиционными геолого-геофизическими методами, почти исчерпан. Совершенствование дистанционных методов открывает новые перспективы для прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов.

Разработка комплекса методов дистанционного зондирования для выявления алмазоносных кимберлитовых трубок осуществлялась на эталонных объектах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей. Выбор кимберлитовых

полей связан с их максимальной изученностью в пределах Якутской алмазоносной провинции, принадлежностью к существенно различным категориям по степени благоприятности для поисковых работ и нахождением в этих районах большинства промышленных коренных месторождений.

Для решения вопросов, связанных с распознаванием кимберлитовых тел на фоне вмещающих их пород, исследованы возможности многозональной космической съемки LANDSAT-7 ETM+. Выбор космической съемки для исследований обусловлен тем, что составление Государственных геологических карт России в масштабе 1 : 1 000 000 (третьего поколения) в обязательном порядке обеспечивается дистанционной основой, созданной на базе цифровых материалов LANDSAT-7 ETM+. Поэтому актуальна разработка методических основ комплексного использования геолого-геофизических данных и материалов дистанционного зондирования для крупномасштабного прогнозирования коренных месторождений алмазов.

Методы исследования. На примере объектов Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей автором разработан метод выделения алмазоносных кимберлитовых трубок на фоне вмещающих их пород, основанный на дешифри-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, аспирант; e-mail: geoivt@mail.ru

ровании материалов многозональной космической съемки.

Обработка цифровых материалов космической съемки осуществлялась с использованием программного продукта ENVI 4.8, включающего набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от пространственной привязки изображения до получения необходимой информации. Для анализа результатов обработки цифровых материалов космической съемки использованы значения уровня спектральной яркости в каналах LANDSAT 7 ETM+.

В результате исследования яркостных характеристик отдельных трубок, кустов трубок и вмещающих их пород установлены статистически достоверные различия между алмазоносными кимберлитовыми телами и вмещающими породами в диапазонах 0,76–0,90; 1,55–1,75 и 2,08–2,35 мкм.

На основе полученных результатов, подобран алгоритм обработки цифровых материалов в цветовой модели RGB в каналах 4 (0,76–0,90 мкм), 5 (1,55–1,75 мкм), 7 (2,08–2,35 мкм) для выделения аномалий, соответствующих алмазоносным кимберлитовым телам открытого типа на фоне вмещающих пород. Эталонные алмазоносные кимберлитовые трубки открытого типа уверенно выявляются на фоне вмещающих пород, тогда как безрудные трубки практически неотличимы от фона [Ишмухаметова, 2014]. С учетом разрешающей способности используемых в работе космических снимков площадь одного пиксела в основных спектральных каналах соответствует 0,08 га. Площадь отдельной кимберлитовой трубки на исследованной территории составляет в среднем 0,3–3 га. С учетом околотрубочной зоны метасоматически измененных пород площадь выделенной аномалии ~ 1–12 га. Аномалии представлены ярко-зеленым цветом и выделяются на фоне вмещающих пород, характеризующихся различным сочетанием фиолетовых и зеленых оттенков. Аномалии, соответствующие разрабатываемым кимберлитовым трубкам, представлены оттенками красного цвета в цветовой модели RGB в каналах 4, 5, 7 космической съемки LANDSAT-7 ETM+.

При сканировании исследуемой территории на наличие кимберлитовых трубок методом «скользящего окна» предлагается применять размер окна в 100 га (1 км×1 км), где выборка однородная и яркость по всей совокупности пикселей распределена в соответствии с нормальным законом. В этом случае, если в пределах «окна» отсутствуют кимберлиты и метасоматиты из околотрубочного пространства, выборка по яркости в данном спектральном диапазоне будет однородной, а при наличии кимберлитов, отличающихся в указанном диапазоне яркости от вмещающих пород, в пределах «окна» возникнет аномалия площадью ~ 1–12 га, которая и будет обнаружена.

Ограничения предложенного метода выявления аномалий по яркостным характеристикам, соответствующим кимберлитовым трубкам, заключаются в наличии перекрывающих рыхлых отложений мощностью > 5 м, траппов и малом размере площади самих кимберлитовых трубок (< 0,3 га), так как с учетом околотрубочной зоны метасоматически измененных пород площадь аномалии должна составить < 1 га, которую трудно диагностировать по яркости в связи с техническими характеристиками космической съемки LANDSAT-7 ETM+.

По результатам исследований распределения кимберлитовых тел в магнитных и гравитационных полях алмазоносные кимберлитовые трубки открытого типа характеризуются диапазонами значений –2...–5 мЭ и –10...–15 мГал соответственно. Эти значения магнитного и гравитационного полей можно использовать в качестве реперных для прогноза алмазоносных кимберлитов на перспективных площадях. Для выявления кимберлитовых трубок открытого типа предлагается следующая последовательность обработки материалов дистанционного зондирования, гравиметрических и магнитометрических данных.

На поисковой площади устанавливаются области, в которых значения гравитационного и магнитного полей составляют –10...–15 мГал и –2...–5 мЭ соответственно. Затем в пределах выделенных для опоискования областей проводится компьютерная обработка космических снимков, и по яркостным характеристикам в комбинациях спектральных каналов 4, 5, 7 сканированием методом «скользящего окна» выявляются конкретные трубки и кусты трубок. Комплексная обработка результатов космической, гравиметрической и магнитной съемки позволяет достовернее локализовать площади для поиска кимберлитовых трубок и кустов трубок.

Для апробации предложенной методики выявления аномалий, соответствующих кимберлитовым трубкам, привлечены структурно-прогнозные схемы кимберлитолокализирующих дислокаций В.А. Милашева, установленные по методике структурного анализа изотропной мегатрещиноватости. В.А. Милашев установил тесную связь пространственного распределения кимберлитовых тел с блоками земной коры, характеризующимися изотропной по ориентировке тектонической трещиноватостью [Милашев, 1997, 2007, 2010]. Результаты анализа мегатрещиноватости позволяют строить структурные границы кимберлитовых полей вне зависимости от числа и размещения найденных диатрем, поэтому выделение таких участков дистанционным методом позволяет резко сократить площадь опоискования и повышать эффективность работ.

На основе ГИС-технологий в пределах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей по предложенному методу комплексного

использования материалов космической съемки, гравиметрических и магнитометрических данных для выявления алмазоносных кимберлитовых трубок исследованы точки тройного сочленения кимберлитолокализующих дислокаций. С учетом разрешающей способности космического снимка и технических характеристик программных продуктов их обработки каждая из тройных точек представляет собой небольшую площадь земной поверхности, ограниченную 1–2' по широте с севера на юг и 2–4' по долготе с запада на восток.

В пределах тройных точек по результатам обработки космических данных в диапазонах 0,76–0,90; 1,55–1,75 и 2,08–2,35 мкм сканированием методом «скользящего окна» выявлены объекты, аналогичные эталонным алмазоносным трубкам [Ишмухаметова, 2014]. Эти объекты представлены аномалиями площадью 1–12 га, соответствующими как установленным кимберлитовым телам открытого типа, так и предполагаемым перспективным участкам на наличие кимберлитовых тел.

В результате исследований установлены перспективные участки для выявления кимберлитовых трубок и выполнена их разбраковка по степени перспективности [Ишмухаметова, 2015]. Если величины значений аномалий силы тяжести (Δg , мГал) и интенсивности магнитного поля (ΔT , мЭ) для этих объектов находятся в интервале, указанном ранее, то тройные точки относятся к объектам прогноза первой очереди и на них необходимо проведение наземных заверочных работ и детального опробования. К объектам прогноза второй очереди относятся тройные точки, на которых перспективные по космическим данным объекты соответствуют эталонным значениям хотя бы по одному из двух геофизических параметров Δg или ΔT .

В пределах шести тройных точек выявлены перспективные участки, что подтверждает эффективность комплексирования методов дистанционного анализа кимберлитолокализующих дислокаций.

Заверка наземными средствами выявленных по комплексу дистанционных методов участков, перспективных на наличие кимберлитовых тел, позволит дать практическую оценку как методике изотропной трещиноватости, так и предлагаемому способу поисков по совокупности данных гравиметрической, магнитометрической и многозональной космической съемки.

Результаты исследования и их обсуждение. Оценка перспектив коренной алмазоносности на севере Сибирской платформы проведена на основе обобщения геолого-геофизических материалов с использованием традиционного комплекса прогнозно-поисковых признаков, с учетом результатов ранее выполненных работ и рекомендаций предшественников [Подчасов, 2004], с применением предложенного комплекса дистанционных

методов для выявления алмазоносных кимберлитовых трубок. Исследование проведено в пределах листа R-51-A, Б на основе геоинформационных технологий, обеспечивающих полный пространственный анализ геологических, космических и геофизических поисковых признаков, позволяющих точнее определять кимберлитоперспективные участки с оценкой их потенциальной алмазоносности. Задача исследования сводилась к выделению площади, соответствующей кимберлитовому полю, а в пределах прогнозируемого кимберлитового поля — к выявлению локальных участков, перспективных на обнаружение группы тел или отдельной кимберлитовой трубки.

Особенности геологического строения Приленского алмазоносного района обусловлены приуроченностью к Оленекскому сводовому поднятию, в пределах которого развиты региональные разломы, фиксируемые геофизическими методами. В совокупности все нарушения образуют две зоны краевых дислокаций — Молодо-Попигайскую северо-западного направления и Оленекскую северо-восточного простирания, контролирующую размещение Куойкского, Молодинского, Толупского, Мерчимденского и Хорбусуонского кимберлитовых полей.

Первоочередное внимание уделено площадям, перспективным на наличие кимберлитовых полей, выделенных по глубинным геофизическим критериям. Алмазоносные кимберлитовые поля Якутии характеризуются отметками поверхности Мохоровичича от –42 до –58 км, где земная кора не подверглась значительной деструкции, разуплотнением пород кристаллической коры и понижением магнитоактивной поверхности.

Если площади, перспективные на наличие кимберлитовых полей, выделенных по глубинным геофизическим критериям, отличались от эталонных геофизических значений Δg и ΔT (–10...–15 мГал, –2...–5 мЭ), то их относили к объектам прогноза второй очереди.

На площади листов R-51-20,21,32,33, расположенной на северо-востоке от Хорбусуонского поля, наблюдается одновременно как наличие участков с пониженной магнитоактивной поверхностью и разуплотнением пород кристаллической коры, так и наличие участков с отрицательными значениями Δg и ΔT , близкими к эталонным значениям. Дальнейшая оценка каждого объекта и детализация участков, рекомендуемых для постановки наземных геолого-разведочных работ, осуществлялась с привлечением результатов шлихо-минералогического опробования и с учетом рельефа по топографическим картам масштаба 1:100 000–1:50 000, сравнительный анализ которых позволяет определить возможные источники и направления сноса минералов-спутников алмаза.

В пределах выделенной площади установлены находки алмазов в отдельных шлиховых

пробах четвертичных аллювиальных отложений. Современный аллювий обогащен минералами-спутниками алмаза и находками алмазов, где происходит естественное обогащение ассоциации в процессе транспортировки водными потоками и аккумуляции. На изучаемой площади в отдельных точках отмечены находки малотранспортабельных минералов-спутников алмаза — оливина, хромдиопсида, а также находки зерен минералов-спутников алмазов I–II классов сохранности в ореолах и потоках — хромшпинелида, в отдельных точках — пикроильменита, хромшпинелида. Минералы-спутники алмаза здесь широко распространены. Они образуют локальные площадные ореолы и разные по протяженности линейные потоки рассеяния. Преобладают хромшпинелидовая, пироп-пикроильменитовая, пикроильменитовая ассоциации минералов-спутников алмаза, в меньшей степени развиты хромшпинелид-пикроильменитовая, хромшпинелид-пикроильменит-пироповая, пироп-пикроильменит-хромшпинелидовая ассоциации.

Указанные глубинные геофизические и минералогические признаки, а также тектоническая позиция свидетельствуют о перспективности выделенной площади. Выделенная площадь изучена недостаточно, характеризуется неясными перспективами алмазоносности, рекомендуется к доизучению в первую очередь. По ландшафтно-геологической обстановке изучаемая площадь — открытая, с маломощным (до 3 м) аллювиально-делювиальным покровом, на ней можно применить предложенную методику дешифрирования материалов космической съемки при крупномасштабном прогнозировании кимберлитовых трубок и апробированную на эталонных площадях Далдыно-Алакитского алмазоносного района.

В результате изучения площади листа R-51-20,21,32,33 установлено, что в пределах листов R-51-21-В,Г; R-51-33-А,Б можно ожидать выявление нового кимберлитового поля, приуроченного к узлу пересечения разломов север-северо-восточного и северо-западного простирания.

На площади листов R-51-21-В,Г и R-51-33-А,Б в пределах прогнозируемого кимберлитового

поля по яркостным характеристикам космической съемки LANDSAT-7 ETM+ сканированием методом «скользящего окна» выявлены объекты, аналогичные эталонным алмазоносным трубкам [Ишмухаметова, 2014]. Эти объекты представлены аномалиями ярко-зеленого цвета на фоне разного сочетания фиолетовых и зеленых оттенков, площадь 1–12 га. Аномалии соответствуют предполагаемым перспективным участкам на наличие кимберлитовых тел. Установлено 18 объектов, перспективных на выявление кимберлитовых тел, локализованных в среднекембрийских известняках, известняковых конгломерато-брекчиях и доломитах.

Выводы. 1. На объектах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей установлены статистически достоверные различия между алмазоносными кимберлитовыми телами и вмещающими породами. Значения яркости в диапазонах 0,76–0,90; 1,55–1,75; 2,08–2,35 мкм космической съемки LANDSAT 7 ETM+ в сочетании с гравитационными и магнитными данными можно использовать в качестве информативных признаков при крупномасштабном прогнозировании алмазоносных кимберлитовых трубок открытого типа.

2. Точки тройного сочленения кимберлитолокализирующих дислокаций, установленные по методике структурного анализа изотропной мега-трещиноватости в пределах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей, обладают разными яркостными характеристиками на космоснимках, по-разному проявлены в гравитационном и магнитном полях. Разбраковка выявленных аномалий в пределах тройных точек по яркости и геофизическим данным (Δg и ΔT) позволила выявить в пределах полей новые участки, перспективные для выявления кимберлитовых трубок.

3. На основе предложенной методики с использованием ГИС-технологий анализа геологических данных, материалов космической съемки, геофизических работ и шлихо-минералогических исследований в Приленском районе Лено-Анабарской субпровинции, на северо-востоке от Хорбусунского поля выявлено 18 локальных участков, перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ишмухаметова В.Т. Исследование критериев, получаемых средствами дистанционного зондирования, для выявления кимберлитовых трубок в Далдыно-Алакитском районе Якутии // Исследование Земли из космоса. 2014. № 4. С. 39–47.

Ишмухаметова В.Т. Крупномасштабный прогноз кимберлитовых трубок в Далдынском и Алакит-Мархинском полях на основе ГИС-технологий // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2015. № 5. С. 15–19.

Милашев В.А. Трещиноватость, блоковое строение платформенного чехла и локализация диатрем. СПб.: ВНИИОкеанология, 1997. 145 с.

Милашев В.А. Введение в геологию коренных месторождений алмазов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2007. 141 с. (Тр. ВНИИОкеангеологии; Вып. 212).

Милашев В.А. Геология кимберлитов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2010. 334 с. (Тр. ВНИИОкеангеологии; Вып. 217).

Подчасов В.М., Минорин В.Е., Богатых И.Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Кн. 1. Коренные месторождения. Якутск: ЯФ ГУ СО РАН, 2004. 548 с.