

Геология и минералогия алмазоносных провинций

УДК 553.81, 553.078

Методика оконтуривания кимберлитовых полей с применением ГИС-технологий (на примере Якутской алмазоносной провинции)

Н.К. Шахурдина, О.В. Тарских

*Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, Россия
e-mail: TarskikhOV@alrosa.ru*

Аннотация. Кратко изложены основные принципы минерогенического районирования Якутской алмазоносной провинции, сложившиеся за 60 лет исследовательских, поисковых и разведочных работ на территории Западной Якутии, и рассмотрен таксономический ряд алмазоносных объектов: «провинция», «субпровинция», «район», «поле», «трубка». Показано, что выделение границ объектов ранга «кимберлитовое поле» и «алмазоносный район» часто имеет субъективный характер. Отражены трудности перехода от аналоговых геологических материалов к цифровым, показаны границы таксономических единиц «алмазоносный район» и «кимберлитовое поле», выделенных разными авторами на цифровых картах в достоверных географических координатах. Изложены результаты формирования базы цифровых данных пространственного положения, морфологии, ориентации осей, возраста (относительного и абсолютного) вещественно-индикационных параметров для каждого тела Якутской алмазоносной провинции, а также показано применение базы данных для картографических построений. Приведены результаты оконтуривания таксономических единиц ранга «кимберлитовое поле» с применением ГИС-технологий на основе «метода буферизации». Показано, что наиболее корректно границы кимберлитовых полей определяет пятикилометровая буферная зона, совпадающая с границами максимальной плотности разрывных нарушений и геофизическими аномалиями. Применение метода позволило в ряде случаев сократить площади полей, а также более достоверно отследить ориентацию основной оси кимберлитового поля. Предложенная методика внедрена и используется в геологоразведочном комплексе АК «АЛРОСА».

Ключевые слова: районирование, кимберлитовое поле, кимберлитовое тело, алмазоносный район, буферизация, ГИС-технологии.

A Method of Delineation of Diamondiferous Fields with Application of GIS-Technology (in the Case of Yakut Diamondiferous Province)

N.K. Shakhurdina, O.V. Tarskikh

*Research Geological Prospecting Enterprise of PJSC «ALROSA», Mirny, Russia
e-mail: TarskikhOV@alrosa.ru*

Abstract. The basic principles of mineragenic zoning of the Yakut Diamondiferous Province which have been formed for 60 years of search, prospecting and exploration works on the territory of Western Yakutia are briefly reviewed. The taxonomic range of diamondiferous objects («province», «subprovince», «district», «field», «pipe») is considered. It is shown that separation of boundaries of such objects as «kimberlite field»

and «diamondiferous district» often has a subjective character. The difficulties of transition from analog to digital geological materials are reflected through demonstration of the boundaries of a diamondiferous district and a kimberlite field determined by different authors on digital maps in relevant geographical coordinates. The results of forming of digital data base of essential kimberlite bodies parameters such as geographic location, morphology, axes orientation, age (relative and absolute), petrological and mineralogical peculiarities for each kimberlite pipe or vein of Yakut Diamondiferous Province are present. Practical application of the base for cartographic representation are demonstrated. The method of delineation of a taxonomic unit «kimberlite field» using «buffering method» with application of GIS-technology is presented. It is shown that the most correctly a kimberlite field boundaries are defined by a five kilometers buffering zone which coincides with the boundaries of the maximum density of faults and geophysical anomalies. The application of the method allowed to reduce a field area and clarify a direction of a main axis for some kimberlite fields. The proposed method is deployed and operated by PJSC ALROSA geological exploration complex.

Key words: zoning, kimberlite field, kimberlite body, diamondiferous district, buffering, GIS-technology.

Введение

Якутская алмазоносная провинция располагается в западной части Республики Саха (Якутия) и охватывает Мирнинский, Оленекский, Булунский и частично Анабарский районы (листы Р-49, Q-49, R-49, P-49, Q-50, R-50). Территория провинции охватывает восточную часть Среднесибирского плоскогорья и северо-западную часть Виллюйской низменности. Активные поиски кимберлитовых тел на этой территории ведутся с 1945 г. [1]. Первые алмазы были обнаружены в 1949 г., первое коренное месторождение «Зарница» открыто в 1954 г. К настоящему моменту открыто более тысячи кимберлитовых тел, из них более двадцати промышленных месторождений алмазов.

В отечественной геологической практике давно и широко применяется минерагеническое районирование [2] с выделением разномасштабных таксонов: «провинция», «субпровинция», «область», «зона», «район», «поле», «месторождение».

Уже к концу 1950-х гг. А.П. Бобривичем с соавторами была предложена первая схема районирования алмазоносной области [1], выделены таксоны ранга «алмазоносный район» (Малоботуобинский, Далдыно-Алакитский, Верхнемунский, Оленекский и Анабарский) и «обособленные районы распространения кимберлитовых трубок» (кимберлиты р. Далдын и р. Алакит).

В 1970-х гг. В.А. Милашевым были созданы две схемы районирования Якутской алмазоносной провинции: геолого-генетическая и геолого-экономическая [3], со следующим таксономическим рядом: кимберлитовая провинция, кимберлитовая зона, кимберлитовое поле, кимберлитовое тело. При этом В.А. Милашев предложил сохранить термин «кимберлитовый район», как «исторически сложившийся термин свободного пользования для обозначения компактных площадей развития кимберлитов без учета особенностей формирования последних» [3].

В 1979 г. Ф.Ф. Брахфогелем составлен кадастр кимберлитовых тел Якутской алмазоносной про-

винции [4], приведены важнейшие характеристики кимберлитовых тел. Автор использует две основных таксономических единицы: «кимберлитовое тело» и «кимберлитовое поле». Материалы Ф.Ф. Брахфогеля были существенно дополнены (в основном результатами исследования вновь открытых кимберлитовых тел в Далдыно-Алакитском районе) Б.С. Ягнышевым [5, 6].

В работе [7, с. 67] по географическим, геотектоническим и вещественно-индикационным характеристикам выделяется «Якутская кимберлитовая (алмазоносная) провинция», охватывающая приблизительно 1500 км с юга на север «от Малоботуобинского района почти до моря Лаптевых» и 1000 км с запада на восток «от Харамайского поля в Красноярском крае до р. Лены». Очевидно, что термины «алмазоносная» и «кимберлитовая» авторами принимаются равнозначными. Дальнейший таксонометрический ряд, приведенный А.Д. Харьковым с соавторами, выглядит следующим образом: «субпровинция (область)», «алмазоносный район», «кимберлитовое поле», «кимберлитовая трубка».

В 2001 г. Н.И. Горевым сформулированы принципы тектонического районирования Сибирской платформы в свете оценки перспектив алмазоносности на основе палеотектонических реконструкций [8], им выделены алмазоносные районы различного возраста и обозначены структуры, наиболее перспективные для поисков месторождений алмазов.

При общем сходстве названий и подразделений границы кимберлитовых полей, алмазоносных районов проводились в соответствии с основными принципами районирования, принятыми тем или иным автором [3–8] (рис. 1) и зачастую координаты не только границ кимберлитовых полей, но и кимберлитовых тел существенно разнились.

Материалы и методы исследований

Современное состояние поисковых работ на алмазы, широкое внедрение цифровой карто-

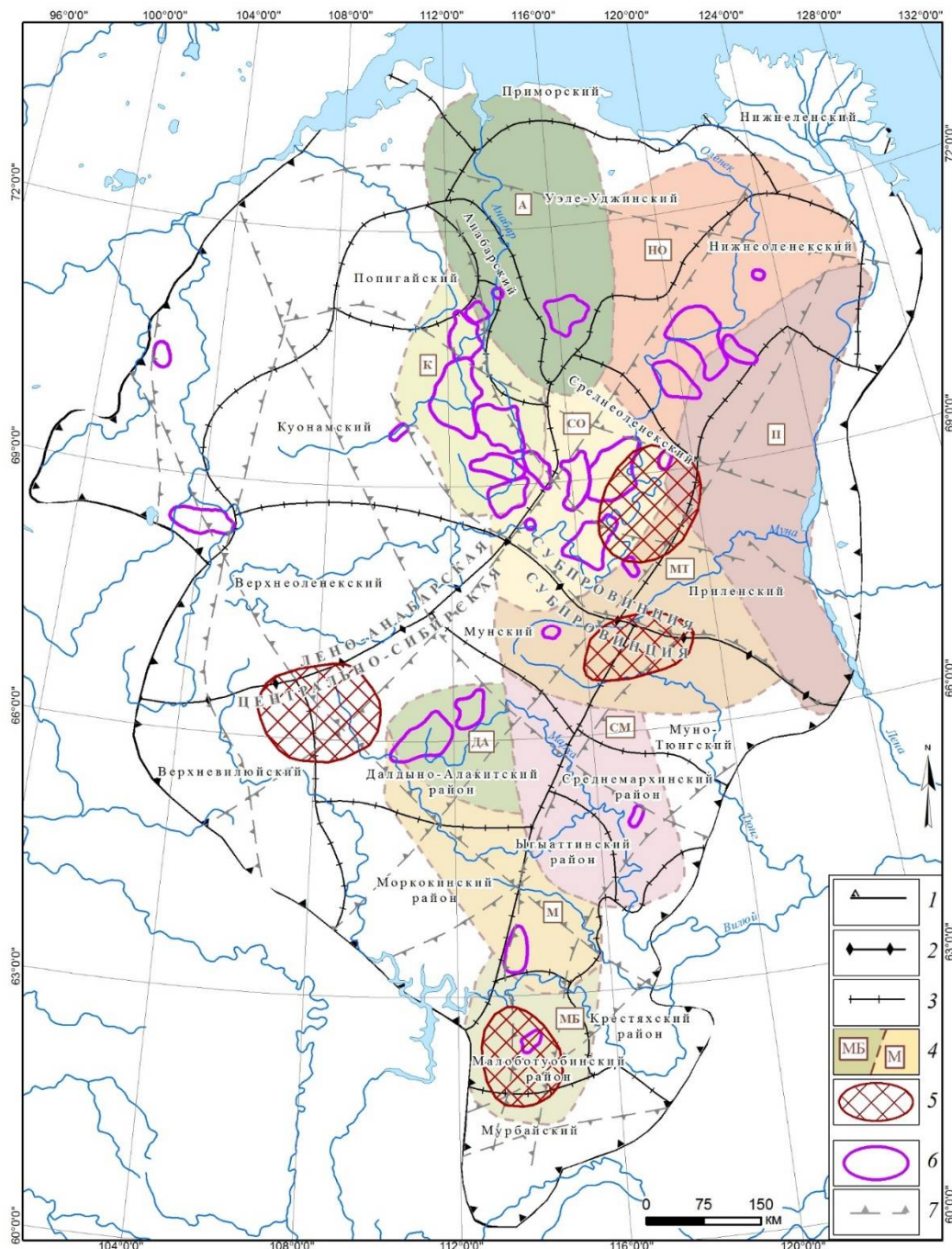


Рис. 1. Схема минерагенического районирования Якутской алмазоносной провинции:

1 – контур ЯАП; 2 – границы между субпровинциями: ЦСС и ЛАС; 3 – границы алмазоносных районов (Горев, 2015); 4 – границы алмазоносных районов: МБ – Малоботуобинский, М – Моркокинский, СМ – Среднемархинский, ДА – Далдыно-Алаkitский, МТ – Муно-Тюнгский, СО – Среднеоленекский, К – Куонамский, А – Анабарский, П – Приленский, НО – Нижнеоленекский (Зинчук, 2003); 5 – районы распространения кимберлитовых трубок (Бобриевич, 1959); 6 – контуры кимберлитовых полей; 7 – зоны глубинных разломов I порядка

графии в практику геологоразведочных работ и переход поисков на так называемые «закрытые территории» потребовали корректной географической привязки разноранговых объектов: как отдельных кимберлитовых тел, так и границ объектов более высокого ранга (кимберлитовых полей и алмазоносных районов). Одной из глав-

ных задач стало создание цифровой базы данных с характеристиками кимберлитовых тел с истинными географическими координатами.

В качестве основы для базы данных использованы фундаментальные работы Ф.Ф. Брахфогеля [4] и Б.С. Ягнышева [5, 6], в итоге была сформирована база цифровых данных характеристик

кимберлитовых тел ЯАП. База содержит название кимберлитового тела или отдельно расположенной жилы (в отличие от внутритрубочных жильных образований), координаты (прямоугольные и географические), форму, размеры, простирание, разновидности кимберлитовых пород, выполняющих тело, абсолютный возраст и метод его

определения, алмазоносность (кар/т). Опираясь на данные Н.И. Горева с соавторами [8], территория ЯАП ограничена с юга Мурбайским районом.

Принадлежность кимберлитового тела к более крупной таксономической единице принята по «Методическим указаниям...» [9]. Итоговая схема районирования приведена на рис. 2, А.

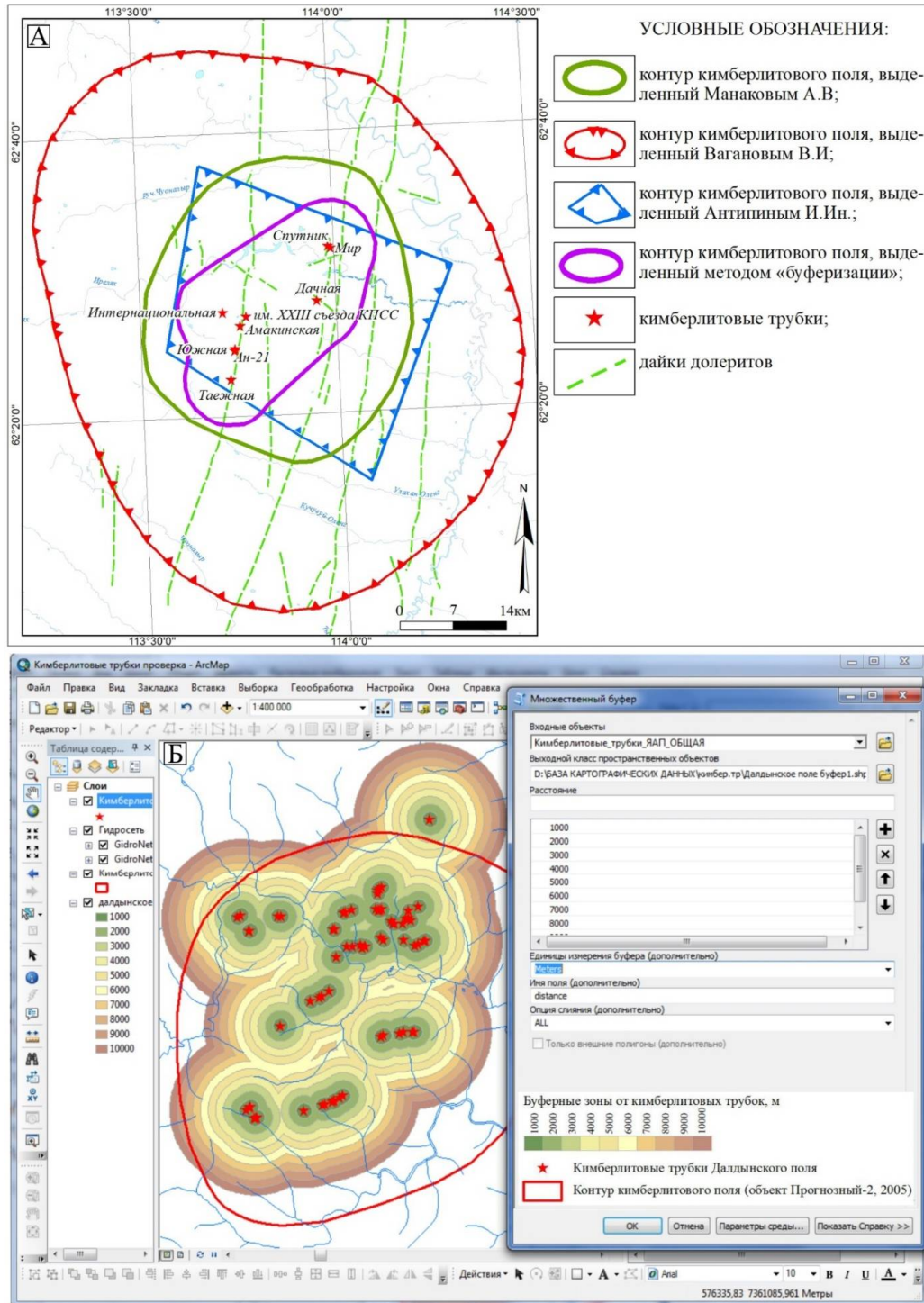


Рис.2. Сводная схема оконтуривания Мирнинского кимберлитового поля (А); пример построения буферных зон с помощью модуля Spatial Analyst (Б)

Границы между алмазонасными субпровинциями и алмазонасными районами проведены с учетом минералогической, магматической, тектонической и глубинной информации [8]. Якутская алмазонасная провинция разделена на две субпровинции: Центрально-Сибирскую и Лено-Анабарскую.

К настоящему моменту в базе данных насчитывается 1052 кимберлитовых проявления из 25 полей. База постоянно пополняется опубликованными и фондовыми материалами Ботуобинской и Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) и позволяет оперативно оценивать по любому из параметров кимберлитовое поле, район, субпровинцию или провинцию в целом.

Для прогнозирования и поисков алмазонасных объектов необходимо достоверное выделение границ кимберлитового поля, притом, что разные авторы под этим таксоном понимают близкие, но не тождественные понятия, ниже приводятся несколько примеров таких различий:

Кимберлитовое поле – это обособленный участок развития кимберлитов, формирование которых происходило при близких термодинамических (фациальных) и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне. Границы поля устанавливаются по положению ограничивающих разломов [3].

Кимберлитовое поле – это пространственно обособленный разновозрастный рой разнофациальных тел кимберлитовых пород, расположенный в пределах магмопроницаемого участка региональной зоны дробления консолидированной коры и опирающийся на крупный массив щелочно-ультраосновных пород [4].

Кимберлитовое поле – это пространственно сближенная, достаточно схожая по своим характеристикам группа магматических тел [10].

При построении карт кимберлитовые поля изображаются в виде окружностей, овалов и сложных многоугольников. Те или иные элементы тектонического строения, водотоки, определяемые в качестве граничных, варьируют от автора к автору и от района к району. Такая интерпретация носит во многом субъективный характер и вносит существенную путаницу в картографические построения (рис. 2, А). Для выхода на новый уровень прогнозирования необходим единый, максимально формализованный, «математический» подход, сочетающий все имеющиеся цифровые и фактографические данные.

В настоящее время географические информационные системы нашли широкое применение в практике алмазопромышленных работ АК «АЛРОСА», в качестве основного программного про-

дукта использован пакет программ ArcGIS ArcMap 10.4.1, который позволяет структурировать значительный объем информации. В качестве исходных данных использовался цифровой точечный слой «кимберлитовые трубки ЯАП» в географической системе координат «GCS Pulkovo_1942». Всего на территории Якутской алмазонасной провинции используются три системы координат: «Pulkovo 1942 GK Zone 19N», «Pulkovo 1942 GK Zone 20N», «Pulkovo 1942 GK Zone 21N». В зависимости от выбранной зоны ArcMap автоматически перепроецирует цифровые данные, в данном случае точечный слой «кимберлитовые трубки ЯАП». С помощью модуля Spatial Analyst (дополнительный модуль ArcGIS для пространственного анализа растровых и векторных данных) были построены буферные зоны с шагом от 1 до 10 км. Буфером или буферной зоной в нашем случае называется область, которая охватывает кимберлитовые тела, расположенные не далее заданного расстояния (рис. 2, Б).

Результаты и обсуждение

Среди принципиально возможных вариантов расположения кимберлитов в пределах поля преобладает линейно-кустовое. Выделение отдельных «кустов» кимберлитовых тел возможно уже при двух- и трехкилометровом буфере. На территории Центрально-Сибирской субпровинции в ходе многолетних исследований выделено шесть кимберлитовых полей с различным количеством кимберлитовых тел, а также расстоянием между кустами и отдельными кимберлитовыми телами. Существуют кимберлитовые поля с компактным расположением тел, так Верхнемунское поле однозначно оконтуривается при трехкилометровом буфере, а границы Алакит-Мархинского поля выявляются только при ширине буфера в 6 км. Накынское поле выделяется при четырехкилометровом буфере, Мирнинское – при ширине буферной зоны в 5 км. Среднее математическое значение составляет 4800 м.

На территории Лено-Анабарской субпровинции выделено 19 кимберлитовых полей, наиболее компактные из них: Усть-Силигирское, Эбеляхское, Верхнемоторчунское и Хорбусуонское (2 км), средние значения у Западно-Укукитского, Лучаканского, Куранахского (4–5 км), максимальные значения буферной зоны у Биригиндинского, Чомурдахского, Ары-Мастахского полей (6–7 км). Среднее математическое значение составляет 5400 м.

Практическое применение метода показало, что для северной части провинции буферная зона шириной в 5 км позволяет корректно выделить контур поля, для единообразия такой же

МЕТОДИКА ОКОНТУРИВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

в зоне диагонального кимберлитовмещающего нарушения северо-восточного простирания, такое же направление имеют и длинные оси кимберлитовых тел. В целом плотность дизъюнктивов не превышает 1,2 км/км², наибольшее значение в 1,8–2,5 км/км² локализовано в центральной части, в пределах Дяхтарского куста кимберлитовых тел [12]. В пределах Среднемархинского района специалистами АК «АЛРОСА» по магниторазведочным данным была выделена аномальная область, которая является комплексной двухуровневой аномалией пониженных значений намагниченности пород фундамента как на глубинных горизонтах, так и приповерхностных к кровле фундамента (рис. 4). Границы максимальной плотности разрывных нарушений и контуры геофизических аномалий уверенно согласуются с аналитически выделенной методом буферизации границей кимберлитового поля.

Мирнинское поле приурочено к узлу пересечения Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов I порядка и Джункун-Хампинской зо-

ны II порядка. Плотность разрывных нарушений колеблется от 0,05 до 2,5 км/км², наибольшая плотность (1,7–2,5 км/км²) наблюдается в центре [13]. Специалистами Ботуобинской ГРЭ в центральной части Малоботуобинского района была выделена кольцевая структура фундамента по максимальным значениям градиента поля ΔG, которая считается наиболее перспективной для проявления кимберлитового магматизма, к этой области приурочены все выявленные кимберлитовые тела.

Выводы

Таким образом, исходя из структурно-тектонических, вещественно-индикационных параметров и дистанционного анализа на территории Якутской алмазонасной провинции авторами уточнены границы кимберлитовых полей и вычислена их площадь (таблица).

Применение ГИС-технологий при прогнозно-поисковых построениях позволило разработать единый методический подход к выделению таксономической единицы «кимберлитовое поле»,

Известные кимберлитовые поля Якутской алмазонасной провинции с номенклатурной привязкой

Субпровинция	Район	Поле	Площадь, км ²	Размеры, км	Номенклатура м-ба 1:200 000
Центрально-Сибирская	Малоботуобинский	Мирнинское	494	33,8×17,7	P-49-XXVIII; P-50-XIII
	Ыгыаттинский	Сюльдюкарское	1401	61,5×28	P-49-VI; P-49-XII
	Среднемархинский	Накынское	323	28,7×12,4	Q-50-XXVII, XXVIII
	Далдыно-Алаkitский	Алакит-Мархинское	3091	87,8×46,4	Q-49-XV, XVI, XXI, XXII
		Далдынское	1322	57,6×38,4	Q-49-XVII, XVIII
Мунский	Верхнемунское	285	22,3×17,4	Q-50-VII, VIII	
Лено-Анабарская	Куонамский	Усть-Силигирское	139	14×12,2	R50-XXXI,XXXII
		Куранахское	1760	60,2×35	R-49-XXIX, XXX; R-50-XXV
		Биригиндинское	1520	71,3×27,7	R49-XXIII,XXIV, XXIX,XXX; R-50-XXV,XXVI
		Лучаканское	1034	55,4×24,7	R50-XXV,XXVI, XIX,XX
		Дюкенское	2765	81×49,7	R49-XXIII,XXIV; R50-XIX,XX
		Ары-Мастахское	4527	103,8×71	R49-XV-XXVIII, XXI-XXIV
		Старореченское	1826	62×38,4	R49-XI,XII, XVII,XVIII
		Эбеляхское	138	14×12,2	R49-XI,XII; R50-VII,VIII
	Среднеоленекский	Верхнекуонамское	290	26,5×12,4	R49-XXI,XXII
		Севернэйское	327	26,3×13,2	Q50-III,IV; R50-XXXIII,XXXIV
		Чомурдахское	2686	82,6×54	Q50-III,IV; R50-XXXI-XXXIV
		Западно-Укукитское	1806	77,5×26,4	R50-XXV-XXXVIII
		Восточно-Укукитское	3882	96×61,2	R50-XXI-XXIV, XXVII-XXX
	Нижнеоленекский	Верхнемоторчунское	310	24,7×15,2	R50-XXIX,XXX
		Мерчимденское	1875	73,6×36,6	R50-XVII,XVIII, XXIII,XXIV; R51-XIII,XIV,XIX,XX
		Куойско-Молодинское	3982	94,7×56	R50-XI,XII,XVII,XVIII; R51-VII,VIII,XIII,XIV
		Толуопское	888	52×19,2	R51-XIII-XVI
	Уэле-Уджинский	Хорбусуонское	158	15,2×12	R51-IX,X
		Томторское	1874	58×50	R50-VII-X

при современном состоянии геологической изученности максимально учесть все имеющиеся данные, сократить площади полей с исключением из прогнозных построений бесперспективных территорий, установить оптимальную буферную зону шириной 5 км.

Полученные результаты хорошо согласуются с дизъюнктивной тектоникой и геофизическими данными. В настоящее время выделенные Н.К. Шахурдиной границы кимберлитовых полей используются во всех подразделениях геолого-разведочного комплекса АК «АЛРОСА».

Литература

1. Бобривич А.П., Бондаренко М.Н., Гневушев М.А. Алмазные месторождения Якутии. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 528 с.
2. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 326 с.
3. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. Л.: Недра, 1979. 183 с.
4. Брафогель Ф.Ф. Каталог кимберлитовых и ассоциирующихся с ними тел восточной части Сибирской платформы. 1979. Фонды НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), №275. Кн. 1. 362 л.
5. Ягнышев Б.С. Атлас кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля Якутской кимберлитовой провинции. 1988. Фонды НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), №159. Кн. 1. 313 л.; кн. 2. 273 л.; кн. 3. 180 л.
6. Ягнышев Б.С. Дополнение к Атласу кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля Якутской кимберлитовой провинции. 1992. Фонды НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), №260. 62 с.
7. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов Мира. М.: Недра, 1998. 556 с.
8. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Граханов О.С., Проценко Е.В. Минерагеническое районирование Сибирской платформы на алмазы // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии (Материалы V полевого научно-практического семинара). Айхал, 2015. С. 44–54.
9. Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Якутская алмазоносная провинция) / Под ред. В.А. Ерхова, Ю.М. Дауева Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989. 64 с.
10. Манаков А.В., Романов Н.Н., Полторацкая О.Л. Кимберлитовые поля Якутии. Воронеж: Воронежский университет, 2000. 82 с.
11. Шахурдина Н.К. Оконтуривание кимберлитовых полей методом «буферизации» // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России (Материалы Всероссийской научно-практической конференции). Якутск, 2014. С. 549–552.
12. Шахурдина Н.К., Проценко Е.В. Использование программной среды ArcGIS для анализа разломной тектоники кимберлитоперспективных территорий на примере Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии (Материалы V полевого научно-практического семинара). Айхал, 2015. С. 225–229.
13. Шахурдина Н.К. Анализ разрывных нарушений Малоботуобинского района (Западная Якутия) с применением ГИС-технологий // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии (Материалы V полевого научно-практического семинара). Айхал, 2015. С. 221–225.

Поступила в редакцию 02.11.2017