

Геологические исследования при поисках алмазных месторождений

©2021 Н. Н. Зинчук[✉]

*Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я)
Чернышевское шоссе, 16, 678170, Мирный, Российская федерация*

Аннотация

Введение: На Земле среди более 5000 кимберлитовых диатрем и даек, отмечено не менее 500 коренных алмазодносных объектов. Эффективность применения шлихо-минералогического метода поисков новых алмазных месторождений усложняется на территориях с мощными осадочными толщами. Поэтому на первый план при решении прогнозно-поисковых задач выходит необходимость применения комплекса геолого-геофизических исследований.

Методология и объёмы проведенных исследований: Шлихо-минералогический метод малоэффективен для прогнозирования и поисков новых кимберлитовых полей и трубок вследствие невозможности детальных палеогеографических реконструкций в условиях неполноты и фрагментарности исходной геологической информации. Изучение кимберлитового магматизма обычно происходит с привлечением тектонико-геофизических данных о структуре слагающих разрезы толщ и их минералого-петрофизических характеристик, а также всестороннего исследования трубчатых кимберлитов и содержащихся в них ксенолитов глубинных пород. Главными при геологическом изучении перспективных на алмазы территорий являются тектонические, геофизические, космические и историко-минерагенические исследования. Главными среди геолого-тектонических методов исследований являются региональные геолого-геофизические работы. Они включают широкий комплекс сейсмических, гравиметрических, магнитометрических, электроразведочных, межскважинного просвечивания работ с различными подходами и вариациями в зависимости от конкретного строения перспективных территорий. Их методология с использованием большого объема данных, в том числе авторских, обоснована на примерах алмазодносности Сибирской и Восточно-Европейской платформ. Эти методы являются ведущими для закрытых площадей, где ореолы рассеяния кимберлитовых минералов неоднократно переотложены и оторваны от их первоисточников.

Результаты и их обсуждение: Рассмотрена тектоническая история алмазодносного магматизма по восьми основным продуктивным эпохам палеогоя и неогоя: дорифейской, рифейской, раннепалеозойской (каледонской), среднедевонской-раннекаменноугольной (раннегерцинской), среднекаменноугольно-среднетриасовой (позднегерцинской), познетриасово-юрской (киммерийской), меловой (раннеальпийской), палеоген-неогеновой (позднеальпийской). Кимберлитовые поля с алмазодносными диатремами, дайками, жилами, субпластовыми залежами или без таковых приурочены к термоблемам. Эти поля всех возрастов на древних платформах контролируются линейными рифтами авлакогенов рифейского и фанерозойского возраста. Кимберлитовые тела тяготеют к малоамплитудным тектоническим нарушениям, в том числе в периферийных частях авлакогенов. Анализ фактического материала позволил рекомендовать стратегию поисков коренных месторождений алмазов на уровне кимберлитовых полей как для Сибирской и Восточно-Европейской, так и других древних платформ Мира. Стандартный рациональный геолого-геофизический комплекс должен



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Зинчук Николай Николаевич, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

быть задействован только в пределах ортократонов. Целью прогнозного геолого-геофизического комплекса исследований является определение в пределах того или иного ортократона термоблем, выделяемых предварительно по картам гравитационных и магнитных полей. Изучение геолого-геофизического материала проводится с целью обнаружения признаков линейных рифтов, пересекающих термоблемы. В случае положительного результата необходима постановка структурного картирования района термоблемы с применением структурного бурения, ГИС и малоглубинной сейсмозаземки, что позволит картировать и разрывные нарушения. Полученная структурная карта позволит оконтурить кимберлитовое поле, а элементы его строения в дальнейшем послужат основой для выбора перспективных конкретных участков поисков кимберлитовых тел.

Заключение: Наиболее реальными объектами при оценке новых территорий на алмазоносность следует считать районы кимберлитового магматизма. Они представляют собой сложно построенные радиально-кольцевые структуры «очагового» генезиса, закономерно расположенные в узлах пересечения рифтогенных, развивающихся унаследовано по элементам радиально-концентрических систем планетарного и регионального рангов. Своим возникновением такие районы обязаны сравнительно небольшим мантийным диапирам, место внедрения которых в земную кору подготовлено суммой предшествующих тектонических событий. Магматические и флюидные отщепления этих образований предопределили вынос кимберлитов с алмазами к земной поверхности. Поля кимберлитов и лампроитов целесообразно искать только в пределах районов, где они локализируются в участках с достаточно стандартным набором структурных факторов. Последние устанавливаются при помощи региональных геологических исследований. Большое значение при этом имеет применение комплекса космических, историко-минералогических и геофизических исследований.

Ключевые слова: структурно-тектонический анализ, геофизические, космические и историко-минералогические исследования.

Для цитирования: Зинчук Н. Н. Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2021. №4. С. 35–52. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.4/3789>

Введение

В геологической литературе содержится немало интересных попыток описания связей планетарных тектонических действий со становлением алмазоносных тел. На Земле среди более 5000 кимберлитовых диатрем и даек, отмечено [1–18] не менее 500 коренных алмазоносных объектов. Только на Сибирской платформе (СП) в 25 полях (рис. 1) установлено более тысячи кимберлитовых трубок, даек и жил, а в примерно в 150 установлены алмазы [19–26]. Отдельные диатремы СП (Мир, Интернациональная, Удачная, Айхал, Юбилейная, Комсомольская, Ботубинская, Нюрбинская, Зарница и Краснопресненская) разрабатываются; на трубках имени XXIII съезда КПСС, Дачная и Сытыканская открытая добыча алмазов завершена. Ряд трубок (Дальняя, Заря, Иреляхская, Заполярная, Новинка, Комсомольская-Магнитная, Поисковая и др.) в различной степени подготовлены к эксплуатации. Такая ситуация с открытыми кимберлитовыми диатремами вызвана, в первую очередь, масштабами их продуктивности и экономической целесообразностью [27–30]. Интерес к алмазу велик, а поэтому постоянно увеличивается количество публикаций, вовлекающих в научный оборот новые геологические материалы и их интерпретацию. Несмотря на увеличение базы данных по алмазам отдельных территорий, пока нет ответа на вопросы [31–35] об коренных источниках алмазов на северо-востоке и юге СП, Урале, Тимане, а также Украине, Воронежской антеклизе, Белоруссии, на Восточно-Европейской платформе (ВЕП). Поскольку эффективность применения шлихо-минералогического

метода поисков алмазных месторождений усложняется на территориях с мощным перекрытием их осадочными толщами, на первый план при решении прогнозно-поисковых задач приходит необходимость применения комплекса геолого-геофизических исследований.

Методология и объёмы проведенных исследований

Главными при геологическом изучении перспективных на алмазы территорий являются тектонические, геофизические, космические и историко-минералогические исследования.

Тектоника алмазоносных регионов освещалась во многих опубликованных работах (в том числе и наших обобщающих), в которых с использованием огромного фактического материала, касающегося размещения алмазоносных магматитов на всех континентах Земли, рассмотрена тектоническая история алмазоносного магматизма по восьми основным продуктивным эпохам палеогоя и неогоя: дорифейской, рифейской, раннепалеозойской (каледонской), среднедевонской-раннекаменноугольной (раннегерцинской), среднекаменноугольно-среднетриасовой (позднегерцинской), поздне триасово-юрской (киммерийской), меловой (раннеальпийской), палеоген-неогеновой (позднеальпийской). По этим же эпохам изложен материал в трехтомнике «Историческая минералогия» [35], в котором освещены основные тенденции в эволюции платформенных и геосинклинальных областей Земли, с акцентом на процессы кратонизации, рифтогенеза, распространения базит-ультрабазитового

магматизма в связи с проблемой размещения твердых полезных ископаемых (включая и алмазы). Это позволило высказать суждения о закономерностях структурно-тектонического контроля кимберлитового магматизма на уровне провинций, субпровинций, областей, районов и отдельных полей (рис. 2). Во многих опубликованных работах описаны актуальные част-

ные проблемы прогноза коренной алмазоносности с акцентом на новые поисковые площади в пределах СП и ВЕП. При этом следует отметить, что в пределах отдельных древних платформ не всегда отмечаются все упомянутые эпохи кимберлитового магматизма, что видно на примере основных алмазоносных территорий СП.

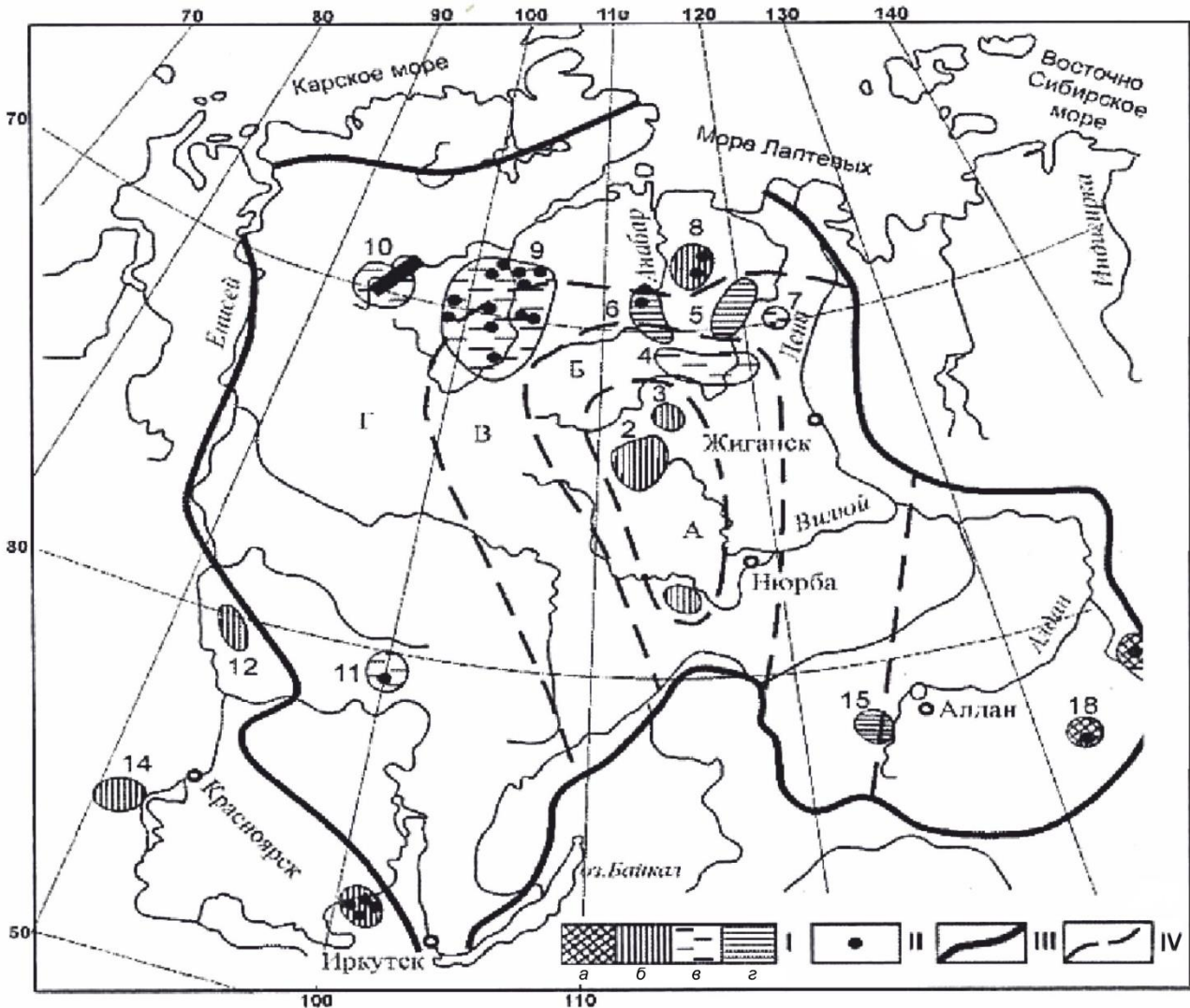


Рис. 1. Схема закономерностей локализации высокоалмазоносных пород среднего палеозоя на Сибирской платформе: I – районы развития кимберлитовых и родственных им пород: а – д – возраста: а – докембрийского, б – палеозойского, в – раннемезозойского, г – позднемезозойского, д – неопределенного возраста алмазоносных районов (1 – Малоботуобинский, 2 – Далдыно-Алакитский, 3 – Мунский, 4 – Среднеоленецкий, 5 – Нижнеоленецкий, 6 – Куонамский, 7 – Приленский, 8 – Уджинский, 9 – Маймеча-Котуйский, 10 – Каменский, 11 – Чадобецкий, 12 – Енисейский, 13 – Окинский, 14 – Минусинский, 15 – Чомподинский, 16 – Тобукский, 17 – Ингилийский, 18 – Арбарасакский); II – массивы центрального типа ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород; III – граница Сибирской платформы; IV – границы преимущественного развития разнофациальных пород (А – кимберлитов алмазной субфации, Б – кимберлитов алмаз-пироповой субфации, В – кимберлитов пироповой субфации, Г – родственных кимберлитам пород). [Fig. 1. Map of localization patterns of highly diamond-bearing rocks of the Middle Paleozoic on the Siberian platform: I – development areas of kimberlite and related rocks: (a – e) – age: (a) – Precambrian, (b) – Paleozoic, (c) – Early Mesozoic, (d) – Late Mesozoic, e – unidentified age of diamond-bearing regions (1) – Malobotuobinsky, (2) – Daldyno-Alakitsky, (3) – Munsky, (4) – Sredneolenecky, (5) – Nizhneolenecky, (6) – Kuonamsky, (7) – Prilensky, (8) – Udzhinsky, (9) – Maymecha-Kotuisky, (10) – Kamensky, (11) – Chadobetsky, (12) – Yeniseysky, (13) – Okinsky, (14) – Minusinsky, (15) – Chompodinsky, (16) – Tobuksky, (17) – Ingiliysky, (18) – Arbarasakhsky); II – central-type massifs of the ultrabasic, alkaline, and carbonatite rocks; III – Siberian platform border; IV – borders of the prevailing development of various facies rocks (A – kimberlites of the diamond subfacies, B – kimberlites of the diamond-pyropo subfacies, C – kimberlites of the pyropo subfacies, D – rocks related to kimberlites). Inscriptions on the picture: Карское море – Kara Sea, Восточно-Сибирское море – East Siberian Sea, море Лаптевых – Laptev Sea, Лена – Lena, Вилюй – Vilyuy, Алдан – Aldan, оз. Байкал – Lake Baikal, Жиганск – Zhigansk, Нюрба – Nyurba, Красноярск – Krasnoyarsk, Иркутск – Irkutsk.]

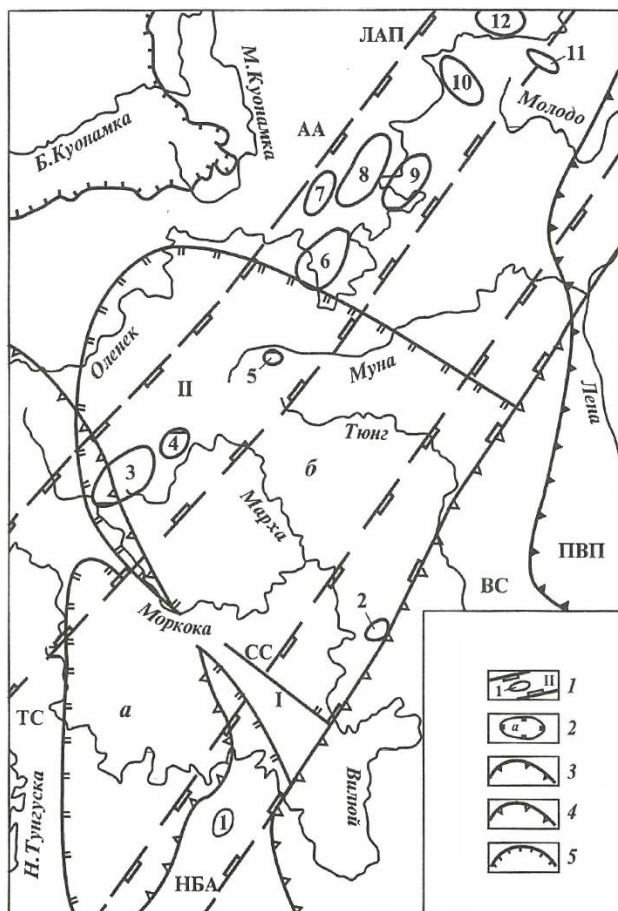


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Якутской кимберлитовой провинции (по Ф.Ф. Брахфогелю с дополнениями автора). 1 - Минерагенические зоны: I - Вилуйско-Мархинская, II - Далдыно-Оленекская; Кимберлитовые поля: 1 - Мирнинское, 2 - Накынское, 3 - Алакит-Мархинское, 4 - Далдынское, 5 - Верхне-Мунское, 6 - Чомурдахское, 7 - Западно-Укукитское, 8 - Восточно-Укукитское, 9 - Огонер-Юряхское, 10 - Мерчимденское, 11 - Толуопское, 12 - Куойкское); 2 - Архейские кратоны: а - Ботуобинский, б - Тунгский; 3 - Границы прогибов: ПВП - Предверхойянский, ЛАП - Лено-Анабарский; 4 - Границы синеклиз (ВС - Вилуйская, ТС - Тунгусская), антеклиз (НБА - Непско-Ботуобинская, АА - Анабарская) и Сюдджерской седловины (СС); 5 - Граница выходов кристаллических пород фундамента на поверхность.

[Fig. 2. Structural-tectonic map of the Yakutsk kimberlite province (according to F. F. Brakhfogel with the author's additions): 1 – Mineragenetic areas: I – Vilyui–Markhinsky, II – Daldyno–Oleneksky; kimberlite fields: (1) Mirninskoye, (2) Nakynskoye, (3) Alakit–Markhinskoye, (4) Daldynskoye, (5) Verkhne–Munskoye, (6) Chomurdakhskoye, (7) Zapadno–Ukukitskoye, (8) Vostochno–Ukukitskoye, (9) Ogoner–Yuryakhskoye, (10) Merchimdenskoye, (11) Toluopskoye, (12) Kuoikskoye); 2 – Archaean cratons: (a) Botuobinsky, (b) Tyungsky; 3 – Borders of troughs: PVT – Predverkhoyansky, LAT – Leno–Anabarsky; 4 – Borders of synclises (VS – Vilyuiskaya, TS – Tungusskaya), anticlises (NBA – Nepsko–Botuobinskaya, AA – Anabarskaya) and Syugdzherskaya saddle points (SS); 5 – Border of the outcropping of crystalline basement rocks. *Inscriptions on the picture:* Б.Куонамка – B. Kuonamka, М.Куонамка – M. Kuonamka, Молодо – Molodo, Муна – Muna, Тюнг – Tyung, Оленек – Olenyok, Марха – Markha, Моркока – Morkoka, Вилуй – Vilyui, Н. Тунгусска – N. Tunguska.]

Проведёнными нами [1, 11, 20, 21, 30, 35] обобщениями материалов по алмазозносному магматизму на большом фактическом материале показано соотношение в неогее этапов осадконакопления (площади и типы осадочных образований), эпох мощного корообразования (рис. 3) и кимберлитового магматизма. Рассматривая в целом изменение площадей проявления магматизма в фанерозое (рис. 4), можно отметить, что магматический процесс на континентах Земли развивался циклично, проходя относительные максимумы (ранний кембрий, ордовик, ранняя юра, поздний мел, палеоген) и минимумы (средний кембрий, силур-девон, средняя юра, ранний мел, неоген). Большая часть «пиков» магматизма на континентах соответствует эпохам мощного корообразования (рис. 3 и 4) раннепалеозойской, поздне триасовой-раннеюрской, поздне меловой-раннепалеогеновой и миоценовой.

Главными среди геолого-тектонических методов исследований являются региональные геолого-геофизические работы, включающие широкий комплекс сейсмических, гравиметрических, магнитометрических, электроразведочных, межскважинного просвечивания работ с различными подходами и вариациями в зависимости от конкретного строения перспективных территорий [7, 8, 12–15, 23–25]. Особенно важны эти методы для закрытых площадей, где ореолы рассеяния кимберлитовых минералов неоднократно переотложены и оторваны от их первоисточников, что делает

малоэффективным шлихо-минералогический метод для прогнозирования и поисков новых кимберлитовых полей и трубок, вследствие невозможности детальных палеогеографических реконструкций в условиях неполноты и фрагментарности исходной геологической информации [7–9, 18–22]. Так, детальное изучение индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) Малоботуобинского алмазозносного района (МБАР) на этапе среднемасштабного районирования позволило сгруппировать (рис. 5) россыпные проявления и россыпи алмазов в три россыпных поля – Ирелях-Маччобинское с разделением на Центральный и Юго-Западный ореолы, Чуоналыр-Курунг-Юряхское с разделением на Северо-Западный и Лапчанский ореолы и Бахчинское. Эти поля неравнозначны как по масштабам россыпной алмазозносности, так и количеству извлечённых и изученных кристаллов первичных минералов.

Первое поле охватывает россыпные проявления и россыпи алмазов нижнеюрских отложений, а остальные – верхнепалеозойских, включая только одну мезозойскую россыпь участка Солурский. В рядом расположенных Среднемархинском, Моркокинском и Муно-Тюнгском алмазозносных районах (рис. 6) также выделено несколько минералогических ореолов, характеризующихся различным возрастом и распространением (Дьюкунахский, Хатырыкский, Ыгыатинский и Нижнеморкокинский). Результаты сравнительного изучения ИМК территории междуречья Маркока-Вилуй

Группа	Система	Отдел	Обобщенная литологическая колонка и перерывы в осадконакоплении	Эпохи корообразования	Коррелятивные осадки	Примечание	
Кайнозойская КЗ	Четвертичная	Q		?		<p>На Сибирской платформе устанавливается развитие указанных эпох корообразования. Однако в рассматриваемом регионе соответствующие им коры выветривания и коррелятивные осадки отсутствуют</p> <p>[The development of the specified epochs of crust formation is being established on the Siberian platform. However, there are no corresponding correlative sediments in the studied region]</p>	
	Неогеновая N	Плиоцен N ₂					
		Миоцен N ₁					
	Палеогеновая P	Олигоцен P ₃					?
		Эоцен P ₂					
Палеоцен P ₁			?				
Мезозойская МЗ	Меловая K	K ₂		?		<p>В депрессиях траппового плато формировались обогащенные продуктами кор выветривания преимущественно глинистые образования, а на остальной территории - чуждые региону песчаногалечные отложения полимиктового состава</p> <p>[Clay formations enriched with weathering crust products were mostly formed in the depressions of the trap plateau, while alien regions of sandy-pebble deposits with polymictic compositions were formed in the rest of the area]</p>	
		K ₁		?			
	Юрская J	J ₃					
		J ₂					
		J ₁					
	Триасовая T	T ₃					
		T ₂					
T ₁							
Палеозойская РЗ	Пермская P	P ₂				<p>На отдельных площадях региона фрагментарно накапливались маламощные терригенные отложения D₃-C₁, которые впоследствии были размывы</p> <p>[In some parts of the region, thin terrigenous D₃-C₁ sediments partially accumulated and were later eroded]</p>	
		P ₁					
	Каменноугольная C	C ₃					
		C ₂					
	C ₁	?					
	Девонская D	D ₃					
		D ₂					
		D ₁					
	Силурийская S	S ₂					
		S ₁					
Ордовикская O	O ₃						
	O ₂	?					
	O ₁						
Кембрийская E	E ₃						
	E ₂						
	E ₁						
Протерозойская PR	Вендская V	V				<p>Отсутствуют данные об эпохах корообразования PR в регионе</p> <p>[There is no data on the eras of PR crust formation in the region]</p>	
Архейская AR							

Рис. 3. Эпохи мощного корообразования в фанерозое Якутской алмазоносной провинции (ЯАП).

[Fig. 3. Epochs of active crust formation in the Phanerozoic of the Yakutsk diamond province (YDP). Inscriptions on the picture: Группа – Group, Система – System, Отдел – Stage, Обобщенная литологическая колонка и перерывы в осадконакоплении – Generalised lithological column and breaks in sedimentation. Эпохи корообразования – Eras of weathering crust formation, Коррелятивные осадки – Correlative sediments, Примечания – Notes.]

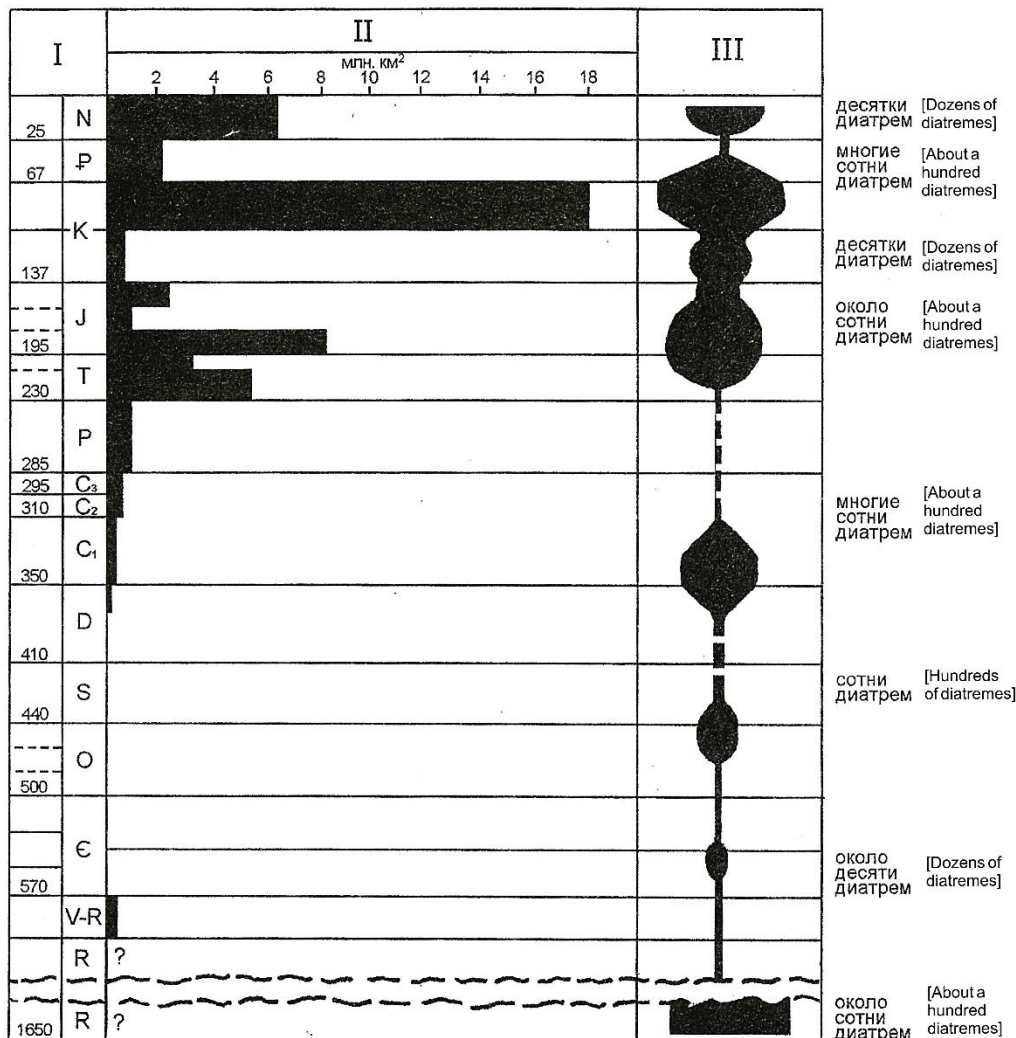


Рис. 4. Магматизм областей платформенного типа развития, не подвергшихся морским трансгрессиям, и интенсивность внедрения потенциально алмазоносных диатрем в неогее Земли [1]. Римскими цифрами обозначены: интервалы геохронологической шкалы (I); площади, занятые магматитами в областях платформ вне ореолов трансгрессии (II); результаты полуколичественной оценки интенсивности процесса внедрения трубок взрыва потенциально алмазоносных пород (III). Соединяющая интервалы массового внедрения диатрем тонкая сплошная или прерывистая линия – единичные случаи мантийного диапиризма.

[Fig. 4. Magmatism of the platform-type development areas that were not subject to marine transgressions, and the intensity of the introduction of potentially diamond-bearing diatremes into the Earth's Neogene [1]. Roman numerals indicate the following: intervals of the geochronological scale (I); areas occupied by magmatites in platform regions outside the transgression halos II); results of a semi-quantitative assessment of the intensity of the introduction of pipes for the explosion of potentially diamond-bearing rocks (III). A thin solid or dash line connecting the intervals of mass introduction of diatremes indicates the individual cases of mantle diapirism.]

свидетельствует о высокой перспективности этой территории на поиски высокоалмазоносных кимберлитовых тел фанерозойского возраста, приуроченных к Виллюйско-Мархинской зоне глубинных разломов. Однако прямой поиск коренных источников алмазов здесь затруднен из-за сложного геологического строения территории, ограничивающего применение как шлихо-минералогического, так и геофизических методов поисков. В таких условиях структурно-тектонические критерии могут иметь решающее значение при определении перспективности той или иной площади и стадийности проведения на ней дальнейших прогнозно-поисковых работ.

Рассматривая наличие или отсутствие структурно-тектонических предпосылок при оценке перспектив-

ности любой изучаемой площади, мы имеем в виду объективное и реальное содержание этого понятия, а не те или иные мнения и гипотезы, имеющиеся по данной проблеме в достаточно большом количестве. Они не приводят к осязаемым практическим результатам по причине несостоятельности или из-за отсутствия их практической геологической проверки. Ведь в большинстве своем известные в настоящее время кимберлитовые поля обнаружены благодаря тому, что их крупные алмазоносные диатремы, будучи еще не перекрыты, создали контрастные ореолы и первичные потоки рассеяния ИМК в древних и четвертичных коллекторах. Минералогический метод поисков в таких условиях, даже без усовершенствованных современных методик диагностики минералов оказался достаточным

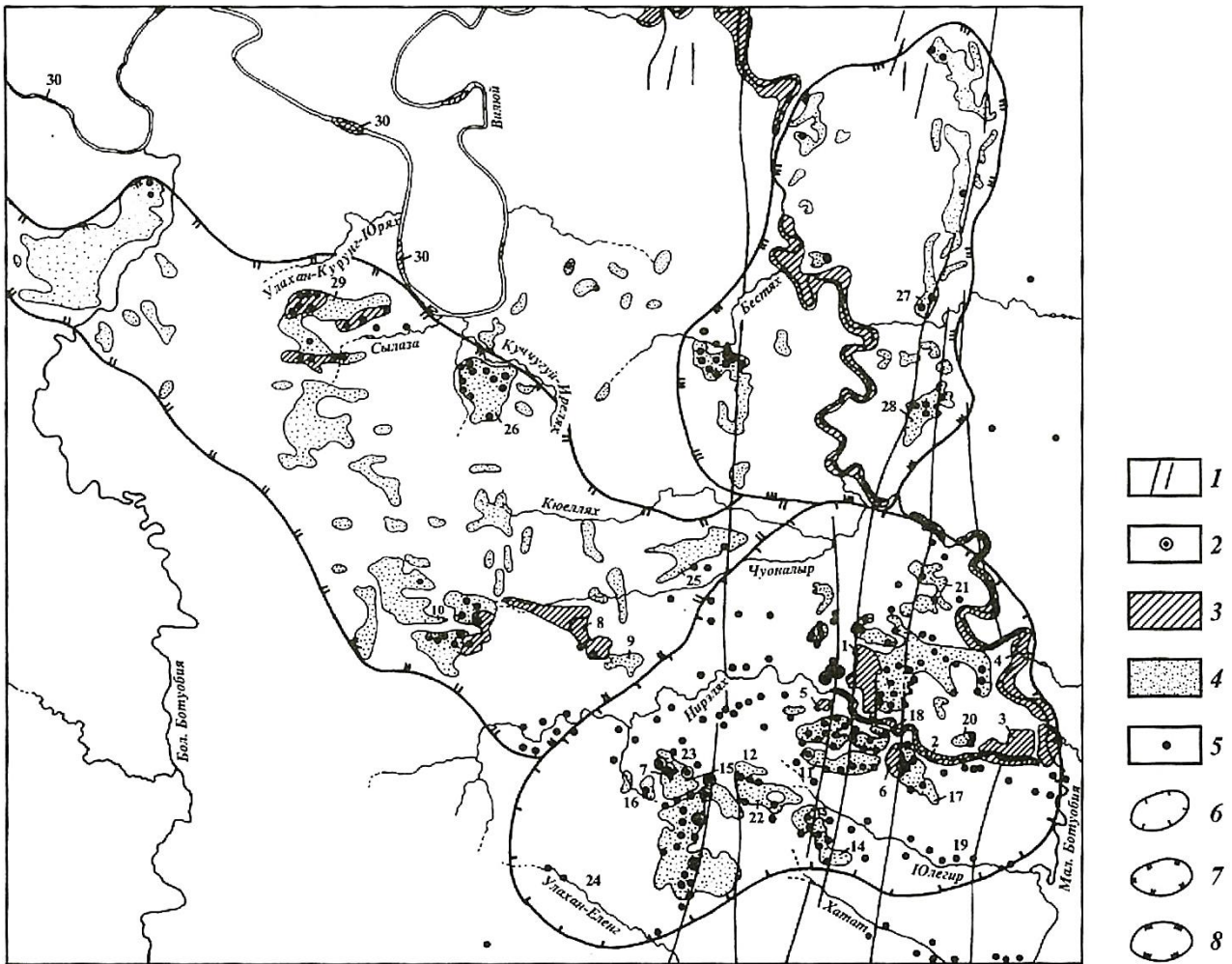


Рис. 5. Схема среднemasштабного районирования бассейна р. Малая Ботуобия (Малоботуобинский алмазоносный район). Структурно-тектонические предпосылки районирования: 1 – кимберлитоконтролирующие разломы Вилуйско-Мархинской зоны. Магматические и минералогические признаки районирования: 2 – кимберлитовые трубки, 3 – россыпные месторождения алмазов (балансовые, забалансовые и россыпи алмазов, оценка которых еще не завершена), 4 – россыпные проявления алмазов и площади развития высококонтрастных ореолов рассеяния их минералов-спутников с находками алмазов, заслуживающие постановки поисково-оценочных работ, 5 – места обнаружения алмазов. Типоморфные особенности алмазов и других ИМК: 6 – центральная ассоциация алмазов (образует Ирелях-Маччобинское россыпное поле); 7 – северо-западная ассоциация алмазов (образует Чуоналыр-Курунг-Юряхское россыпное поле); 8 – северо-восточная ассоциация алмазов (образует Бахчинское россыпное поле). Россыпи и россыпные проявления участков: 1 – Водораздельные галечники, 2 – р. Ирелях, 3 – Горный, 4 – р. Малая Ботуобия, 5 – Дачный-1, 6 – Глубокий, 7 – Новинка, 8 – Восточный, 9 – Солурский, 10 – Западный, 11 – Дачный-2, 12 – Улах-Юряхский, 13 – Юлегирский, 14 – Хадарский, 15 – Берский, 16 – Маччобинский, 17 – Таборный, 18 – Староаэродромный, 19 – Нижнеюлегирский, 20 – Юрский, 21 – Лабахтинский, 22 – Лосиха, 23 – Куранахский, 24 – Улахан-Еленгский, 25 – Чуоналырский, 26 – Куччугуй-Иреляхский, 27 – Бахчинский, 28 – Лимоновый, 29 – Улахан-Курунг-Юряхский, 30 – р. Вилуй.

[Fig. 5. Map of medium-scale zoning of the basin of River Malaya Botuobia (Malobotuobinsky diamond-bearing region). Structural-tectonic preconditions for zoning: (1) – kimberlite-controlling faults of the Vilyuisko–Markhinskaya zone. Magmatic and mineralogical zoning signs: (2) – kimberlite pipes, (3) – placer deposits of diamonds (balance, off-balance, and placers of diamonds that has not been assessed yet), (4) – placer deposits of diamonds and areas of development of high-contrast halos of scattering of their satellite mineral with diamond finds that deserve prospecting and assessment, (5) – places where diamonds have been discovered. Typomorphic peculiarities of diamonds and other KIMs: (6) – central diamond association (forms the Irelyakh–Machchobinskoye placer field); (7) – northwestern diamond association (forms the Chuonalыр–Kurung–Yuryakhskoye placer field); (8) – northeastern diamond association (forms the Bakhchinskoye placer field). Placers and placerdeposits of the sections: (1) – Vodorazdelniye galechniki, (2) – River Irelyakh, (3) – Gorny, (4) – River Malaya Botuobiya, (5) – Dachny-1, (6) – Gluboky, (7) – Novinka, (8) – Vostochny, (9) – Solursky, (10) – Zapadny, (11) – Dachny-2, (12) – Ulakh–Yuryakhsky, (13) – Yulegirsky, (14) – Khadarsky, (15) – Bersky, (16) – Machchobinsky, (17) – Taborny, (18) – Staroаerodromny, (19) – Nizhneyulegirsky, (20) – Yursky, (21) – Labakhinsky, (22) – Losikha, (23) – Kuranakhsky, (24) – Ulakhan–Yelengsky, (25) – Chuonalырsky, (26) – Kuchuguy–Irelyakhsky, (27) – Bakhchinsky, (28) – Limonite, (29) – Ulakhan–Kurung–Yuryakhsky, (30) – River Vilyui.]

для открытия кимберлитовых полей (в том числе и открытых), а в их пределах – трубок. Необходимо при этом отметить, что геологическая изученность и надежность

структурно-тектонических предпосылок (и в особенности их глубинность) на начальных этапах геолого-поисковых работ на древних платформах была далеко не

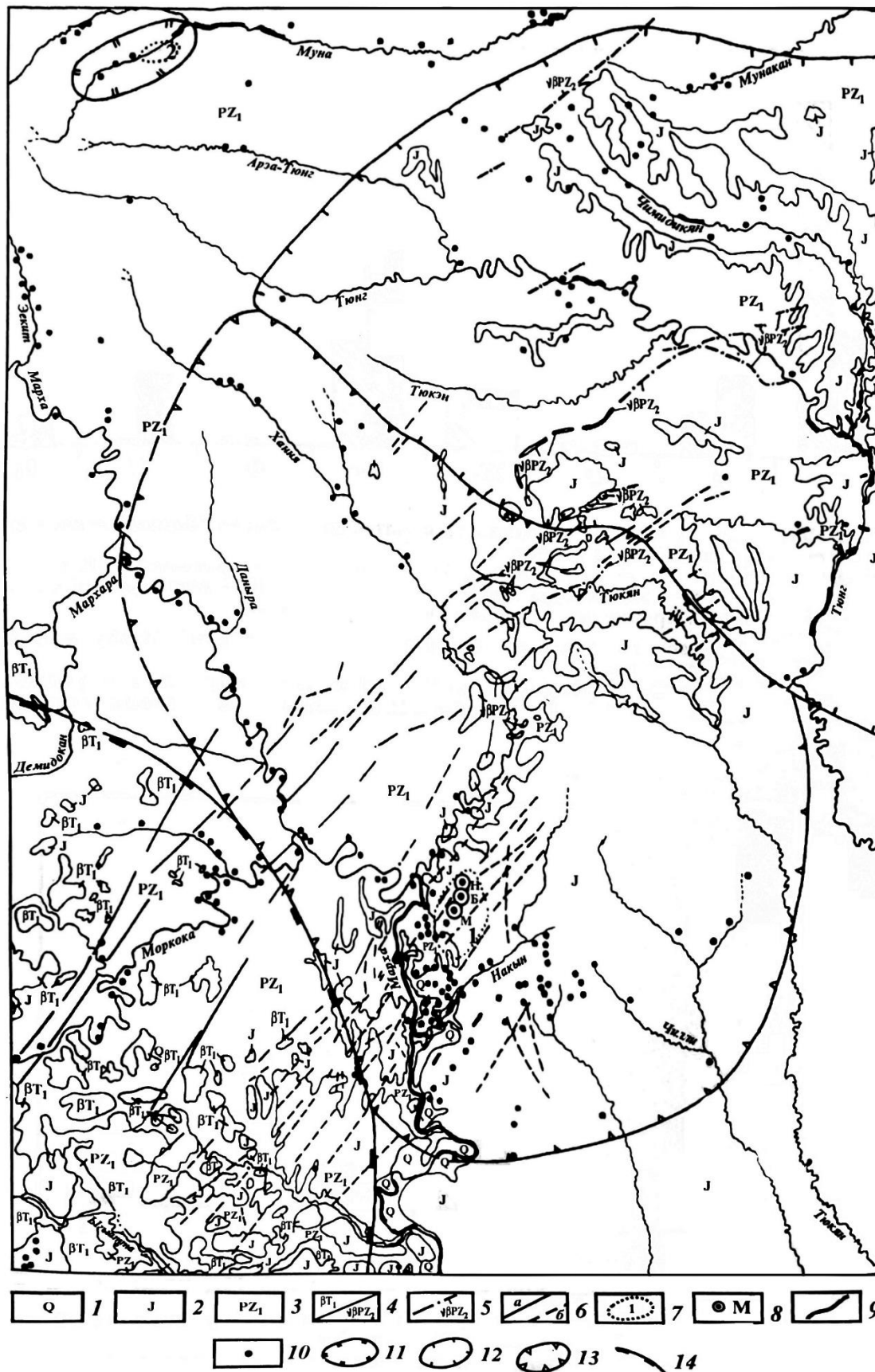


Рис. 6. Схема среднemasштабного районирования бассейна рек Марха, Моркока, Муна и Тюнг (Среднемархинский, Моркокинский, Муно-Тюнгский алмазоносные районы). Геолого-тектонические и магматические предпосылки районирования: 1 – четвертичные отложения, 2 – юрские образования, 3 – нижнепалеозойские породы, 4 – раннетриасовые и среднепалеозойские силы

долеритов, 5 – дайки долеритов среднего палеозоя, 6 – тектонические нарушения (а – достоверные, б – предполагаемые). Магматические и минералогические признаки районирования: 7 – кимберлитовые поля (1 – Накынское, 2 – Верхнемунское); 8 – кимберлитовые трубки среднего палеозоя (В – Ботубинская, Н – Нюрбинская, М – Мархинская), 9 – непромышленные четвертичные аллювиальные россыпи, 10 – находки алмазов. Типоморфные особенности алмазов: 11 – верхнемунская ассоциация алмазов (образует Верхнемунское россыпное поле), 12 – верхнетюнгская ассоциация алмазов (образует Верхнетюнгское россыпное поле), 13 – среднемархинская ассоциация алмазов (образует Среднемархинский россыпной район), 14 – ыгыаттинская ассоциация алмазов (образует Ыгыаттинское россыпное поле).

[Fig. 6. Map of medium-scale zoning of the basins of the Markha, Morkoka, Muna, and Tyung rivers (Srednemarkhinsky, Morkokinsky, and Muno-Tyungsky diamond-bearing areas). Geological–tectonic and magmatic preconditions for zoning: (1) – Quaternary deposits, (2) – Jurassic formations, (3) – Lower Paleozoic rocks, (4) – Early Triassic and Middle Paleozoic dolerite sills, (5) – Middle Paleozoic dolerite dykes, (6) – tectonic disturbances (a – reliable, b – estimated). Magmatic and mineralogical zoning signs: (7) – kimberlite fields (1 – Nakynskoye, 2 – Verkhnemunskoye); (8) – Middle Paleozoic kimberlite pipes (B – Botuobinskaya, N – Nyurbinskaya, M – Markhinskaya), (9) – non-industrial Quaternary alluvial placers, (10) – diamond finds. Typomorphic peculiarities of diamonds: (11) – Verkhnemunskaya diamond association (forms the Verkhnemunskoye placer field), (12) – Verkhnetyungskaya diamond association (forms the Verkhnetyungskoye placer field), (13) – Srednemarkhinskaya diamond association (forms the Srednemarkhinsky placer field), (14) – Ygyatinskaya diamond association (forms the Ygyatinskoye placer field).]

достаточной для выработки тектонических концепций и особенностей их применения на практике. Если на начальных этапах прогнозно-поисковых работ на древних платформах зачастую обходились и без таких концепций, то в настоящее время прогресс в деле открытия новых кимберлитовых полей в сложных условиях поисков на закрытых территориях невозможен без привлечения тектонических и геофизических предпосылок. Они должны быть основаны на глубинном изучении земных недр и практического применения с использованием надежного фактического геологического и геофизического материала по конкретным перспективным площадям.

Между тем структурно-тектоническая изученность СП и ВЕП остается до сих пор не на самом высоком уровне. Однако, благодаря проведению региональных нефтяных сейсморазведочных работ, получены структурные карты отдельных территорий упомянутых платформ, хотя и их точность сегодня не удовлетворяет требованиям алмазной геологии, особенно в отношении картирования разрывных нарушений. Для эффективного использования этих карт необходима коррекция их глубоким бурением. Слабо изучен структурно-геологическими методами кристаллический фундамент древних платформ. Некоторые сведения о его вещественном составе на закрытых территориях получены, судя по опубликованным работам [14–19], по ксенолитам из кимберлитовых диатрем. Совершенствование прогнозирования кимберлитовых полей на древних платформах практически неосуществимо без усиленного его глубинного геологического доизучения.

Много опубликовано работ, посвященных различным геофизическим методам исследований (сейсмические, грави- и магнитометрические, электроразведочные и др.). По отдельным из них приведены материалы углубленных теоретических и экспериментальных исследований. Так, результаты магнитных исследований показали, что магнитные характеристики кимберлитов и траппов изменяются в очень широких пределах, причём большим разнообразием отличаются температурные зависимости намагниченности насыщения и остаточной намагниченности насыщения. Довольно широк также спектр носителей намагниченности пород – различных ферримагнитных минералов. Анализ резуль-

татов таких исследований показал, что в целом наблюдаются определенные закономерности и приуроченность конкретных магнито-минералогических параметров к тому или иному месторождению кимберлитов и проявлений траппов.

Геолого-минералогический анализ этих пород показал, что магнитные данные дают существенную геолого-геофизическую информацию не только о магматизме содержащихся в породах минералов, но и об особенностях их магнитного и минералогического состояния, вызванного условиями их происхождения и дальнейших изменений в течение геологического времени. При переходе от анализа к геолого-геофизической их интерпретации возникает основная проблема геолого-магнитных исследований. Магнетизм кимберлитов определяется преимущественно ферришпинелидами, образовавшимися на магматической стадии в процессе медленного охлаждения от высоких температур. Магнетизм широко встречающихся на этих же перспективных территориях траппов определяется титаномагнетитами на разных стадиях распада. У части траппов титаномагнетиты подвергнуты однофазному окислению, следствием которого является наличие в траппах титаномагнетитов [8–11]. Траппы характеризуются высокими величинами естественной остаточной намагниченности и пониженными параметрами максимальных точек Кюри.

Результаты исследований и их обсуждение

Во многих опубликованных работах последних десятилетий показано [8, 18–21, 31–35], что кимберлитовые поля с алмазоносными диатремами, дайками, жилами, субпластовыми залежами или без таковых приурочены к термоблемам. Кимберлитовые поля всех возрастов на древних платформах контролируются линейными рифтами, связанными (или не связанными) с полициклическими авлакогенами рифейского и фанерозойского возраста. Контроль авлакогенами проявлен в факте расположения кимберлитовых тел в малоамплитудных линейных рифтах, а также систематически наблюдаемой включенностью кимберлитовых проявлений в периферийную тектоническую структуру авлакогенов. Кимберлиты отсутствуют в континентальных рифтах, достигших высших стадий развития (в открытых рифтах). Для них характерен [1,

5, 12, 21, 32] разнообразный ультраосновной и основной магматизм с карбонатами, сиенитами, пикритами, а также бимодальный вулканизм.

Поля алмазоносных кимберлитов и лампроитов сопутствуют континентальным рифтам с проявлениями основного, умеренно щелочно-основного магматизма. Безусловность установления структурно-тектонического контроля проявлений кимберлитового магматизма должна реализовываться определением пространственной, генетической и историко-геологической связи названных проявлений с основными геоструктурами древних платформ, определяющими структурно-тектонический их план на различных этапах геологической фанерозойской истории (для СП). В связи с этим неизбежно допущение, что источники алмазоносных трубчатых кимберлитов изначально находились в коре в некоторых участках раннедокембрийских кратонов.

Начиная с докембрия, рифтогенез является самостоятельным тектоническим режимом, сыгравшим огромную роль в геологическом развитии Земли. На связь кимберлитового магматизма с рифтогенными структурами указывает многими исследователями [6–8, 20–23, 30–35]. Однако пока никто из сторонников происхождения кимберлитов из астеносферных глубин не объяснил ещё механизм сочетания авлакогенов (в сущности коровых образований) с процессами, происходящими на астеносферных уровнях, равно, как и столь избирательный специфический магматизм кимберлитовых полей. Выяснение структурно-тектонического контроля кимберлитовых полей в основном осуществлено на основе подробной и объективной геологической интерпретации достаточного фактического материала: карты геофизических полей, данных сейсморазведки, геологических, структурных, тектонических построений, данных бурения, а также всевозможных литературных источников, несущих содержательную информацию. Детально проанализирована история тектонического развития СП и ВЕП и выделены ортократоны как благоприятные структуры для нахождения в их пределах алмазоносных кимберлитов. Показана пространственная и структурно-тектоническая связь рифейских, среднепалеозойских и мезозойских кимберлитов с авлакогенами и другими рифтогенными структурами, а их алмазоносные разности расположены в линейных (малоамплитудных) рифтах, пересекающих термоблемы на ортократонах.

На примере Мирнинской и Накынской термоблем показана [7–12] методика их выделения, для чего проведен углубленный анализ ортократонов. Предварительно термоблемы выделяются по картам гравитационных и магнитных полей, а затем они изучаются сейсмическими профилями МОВ-ОГТ. Тектонический анализ позволил выделить главные рифтовые структуры, в том числе линейные рифты рифея, среднего палеозоя и мезозоя. Приводятся тектонические схемы, дающие общее представление о контроле рифтами ортократонов.

На севере ВЕП на протяжении около 1000 м в субширотном направлении размещены [1, 12, 21] не-

сколько ареалов алмазоносного кимберлитового магматизма – районы Кандалакши, Терского берега, Архангельска и Среднего Тимана. Близкий возраст (девонский, 360–390 млн лет) и сходные геолого-тектонические условия образования обеспечивают корректность сопоставления особенностей их состава. В пределах *Кандалакшской зоны* глубинного разлома описаны дайки монтичеллитовых кимберлитовых брекчий мощностью 1–1.5 м, прорывающие мигматизированные амфиболиты и имеющие возраст (К-Аг метод) 365 млн лет. Кимберлиты представлены мелкозернистыми массивными разностями. Их трубки и дайки *Терского берега*, сопровождаемые мелилитами, приурочены к Ермаковскому грабену и имеют возраст 337–384 млн лет. Кимберлиты прорывают здесь позднеархейские гнейсы и протерозойские гранитоиды и представлены мелкозернистыми массивными разностями.

Кимберлиты *Архангельской алмазоносной провинции (ААП)* отличаются в различных полях. Кимберлиты Кемпинского поля содержат незначительное количество слюды в основной массе пород. В отдельных диатремах (Пионерская, им. Ломоносова и др.) содержатся многочисленные мегакристы оливина и минералов ксенолитов глубинных пород (хромшпинелид и пирроп), породы обладают высокими содержаниями MgO (>30%). На *Среднем Тимане* известны три трубки (Умбинская, Водораздельная и Средненская), сложенные слюдяными и неслюдистыми неалмазоносными кимберлитами с возрастом 390 млн лет.

Анализ опубликованного материала позволил рекомендовать определенную *стратегию поисков коренных месторождений алмазов на уровне кимберлитовых полей как СП и ВЕП*, так и других древних платформ Мира. Стандартный рациональный геолого-геофизический комплекс должен быть задействован только в пределах ортократонов. Целью прогнозного геолого-геофизического комплекса исследований является определение в пределах того или иного ортократона термоблем, выделяемых предварительно по картам гравитационных и магнитных полей. Изучение геолого-геофизического материала проводится с целью обнаружения признаков линейных рифтов, пересекающих термоблемы. В случае положительного результата необходима постановка структурного картирования района термоблемы с применением структурного бурения, ГИС и малоуглубленной сейсморазведки, что позволит картировать и разрывные нарушения. Полученная структурная карта позволит оконтурить кимберлитовое поле, а элементы его строения в дальнейшем послужат основой для выбора перспективных конкретных участков поисков кимберлитовых тел.

В пределах СП выделено [8, 11, 20–22, 31–35] семь ортократонов: Ангарский и Северный (оба предполагаемые), Байкитский, Ботубинский, Тюнгский, Оленёкско-Мархинский, Арга-Салинский (предполагаемый), а также Анабаро-Куонамский и Средне-Оленекский алмазоносные районы возможного проявления ультраосновного кимберлитоподобного щелочного магматизма. Выделение ортократонов является своего рода

районированием древних платформ, позволяющим вычленивать от опосредования неперспективные территории. Некоторые ортократоны являются высокоалмазоносными районами: Малоботуобинский (МБАР), Далдыно-Алакитский (ДААР) и Среднемархинский (СМАР). В их пределах ведется промышленная добыча алмазов из коренных и россыпных месторождений. Перспективы обнаружения здесь богатых диатрем не исчерпаны, поэтому алмазопроисковые работы продолжаются.

В последние несколько десятилетий увеличилось количество опубликованных работ [8, 18–23, 31–35], посвященных использованию *космических методов при прогнозе и поисках месторождений алмазов*, актуальность которых очевидна вследствие: а) относительной доступности базового материала; б) возможности получения одновременно разномасштабной информации на любой регион Мира; в) эффективности выявления многих особенностей геологического строения земной коры и мантии, влияющих на пути миграции и концентрацию магматитов и рудных флюидов. Материалы космических съемок Земли информативны в отношении многих черт геологического строения континентальной земной коры и верхней мантии, влияющих на миграцию рудных элементов и концентрацию их в благоприятных структурных, литологических и геохимических ситуациях. Эти материалы привнесли в геологию новую информацию, позволившую уточнить уже построенные геологические и тектонические карты, а также выявить структуры и аномалии, которые при проведении традиционных геолого-геофизических работ обычно пропускались. Это связано с оригинальными свойствами используемого при таких исследованиях материала, позволяющего изучать конкретные площади, регионы и целые континенты от общего к частному (что недоступно большинству традиционных методов), фильтровать структурную и другую информацию вследствие использования съемок разных масштабов и видов (узких зон электромагнитного спектра).

Широкий масштабный диапазон космических изображений поверхности обеспечивает также богатые возможности для выделения разноранговых блоковых и разрывных структур, анализа особенностей изменения Земли под влиянием тектонических, магматических, тепловых, эманационных и химических процессов, связанных с рудообразованием. Изучение известных алмазоносных площадей с привлечением материалов космического зондирования показало, что существует значительный резерв в выявлении и расшифровке новых форм их структурного контроля. Космические съемки эффективны при выделении блоковых и разрывных структур разной глубинности и генезиса. Они фиксируются по линейному, концентрическому и радиально-концентрическому расположению гидрографических, почвенных, растительных и других элементов ландшафта, текстурным, тоновым и цветовым особенностям изображения, обусловленным вещественным составом геологического субстрата.

Четкость проявления структур зависит от современного ландшафтного или геотектонического положения

изучаемых территорий, размера и многих других причин. Возникновение отражающихся на космических изображениях площадных, линейных и кольцевых элементов является сочетанием эндогенных (тектонических, магматических, вулканических и метаморфических), экзогенных и космических процессов, большая часть которых традиционно устанавливается с помощью различных методов геофизического зондирования и последующего бурения глубоких скважин с целью уточнения природы и глубины возмущающих объектов и созданных ими аномалий.

Специфические свойства используемого материала позволяют систематизировать разрозненные данные и выделять ту его часть, которая в той или иной степени связана с алмазопроисковыми объектами. Весь таксономический ряд алмазоносных площадей (провинции, субпровинции, зоны, районы и поля) контролируется структурами, образованными глубинными процессами и определенной организацией строения мантии и земной коры. Эти структуры определяют либо региональное положение алмазоносных таксонов, либо особенности их внутреннего строения. Выявление соответствующих типов структур – методическая задача конкретных масштабов исследования, а необходимость последовательного выделения вначале региональных, а затем локальных алмазоконтролирующих структур диктуется методикой системного анализа, позволяющего с минимальными затратами средств и времени достигать конечных результатов.

Наиболее эффективные результаты *космических исследований* наблюдаются при сопоставлении их с картами геофизических полей и данными их различных трансформаций, что свидетельствует о глубинной природе структур, проявляющейся в коре в основном через факторы волнового энергетического процесса и в меньшей мере через тектонические, метасоматические и геохимические преобразования выполняющих их пород. Сходные размеры и морфология структурных форм, фиксируемых на площадях с разным геологическим строением и ландшафтами, позволяют рассматривать их как обязательный признак алмазоносного таксона ранга «район», объединяющего в одном контуре несколько полей.

К континентальным структурам, контролирующим субпровинции алмазоносного магматизма, относятся овално-радиальные разновидности диаметром 1–2 тыс. км в пределах древних платформ, установленные при дешифрировании космических снимков малого и среднего разрешения. Формирующие эти структуры дуговые и радиальные элементы рассматриваются как зоны высокой тектонической активности и проницаемости на протяжении всей истории развития литосферы, что предопределяет приуроченность к ним раннедокембрийских шовных прогибов, фрагментов рифтовых систем и участков разновозрастного магматизма.

Большинство известных участков развития кимберлитовых и кимберлитоподобных пород на древних платформах в основном тяготеют к хорошо проявленному на мелкомасштабных космических материалах

концентрическим дугам этих континентальных образований, а также к радиальным линейным структурам, составляющим с дугами единые сложнопостроенные структуры глубинного генезиса. Была разработана и апробирована научно-обоснованная методика алмазоносного потенциала новых территорий, внедрение которой в практику работ значительно удешевит, ускорит и повысит эффективность оценки алмазоносности территорий и приведет к открытию новых месторождений алмазов.

В последние несколько десятилетий успешно развивается новое геологическое направление – *историческая минерогения*, обоснованное и предложенное [35] в трехтомной монографии (2005–2008 гг.). Оно включает и эволюцию алмазных месторождений на Земле.

В *раннем докембри* (4.0–1.65 млрд лет назад) образовалось одно из древнейших на Земле кимберлитовое тело, обнаруженное в районе Кенозера ВЕП, в самом центре Заонежского полуострова (75 км к СЗ от Петрозаводска). Возраст внедрения тела 1764 ± 125 млн лет (Sm/Nd). Кенозерское тело алмазоносных кимберлитов приурочено к осевой части пластовой интрузии габбро-диабазов, залегающих в нижнепротерозойской толще чередования шунгитизированных сланцев и потоков метадиабазов. Занимаемая площадь – 2000×800 м, видимая мощность – 50–70 м. Предполагается, что это тело имеет силлоподобную форму. Из 18 проб по 60 кг каждая извлечены 97 кристаллов алмаза размером до 2 мм. Еще 14 алмазов встречены при опробовании аллювия и морены этого участка. Отдельные исследователи считают, что источниками алмазов эбеляхского типа на севере СП могли быть гипотетические нижнепротерозойские комагматиты.

Присутствие *рифейских алмазоносных магматитов* прогнозируется [8–14, 31–35] во многих районах ВЕП (Приднестровье, Вольно-Подолья, северо-запад Воронежской антеклизы), а также на Урале и Тимане, но реально они обнаружены лишь на её севере – в Карелии. Новые данные свидетельствуют о присутствии верхневендских щелочных вулканитов – возрастных аналогов мезенской свиты котлинского горизонта в ААП (даты по лазерному U-Pb методу – 570 ± 8 млн лет), повышают перспективы этого региона на открытие продуктивных тел рифейской эпохи кимберлитового магматизма. Наиболее древними диатремами, выявленными на СП, являются тела вулканических брекчий в бассейне рек Большая Куонамка и Хорбусуонка. На Куонамской площади (восток Анабарского щита) известна трубка *Халахтахская*, с условным позднепротерозойским возрастом. В породах диатремы много (9–13%) магнезии и K_2O (3.67–10.24%), при соотношении $K_2O/Na_2O > 25$. По химизму породы относятся к санидинным лампроитам, так как именно санидин ответственен за высокие содержания окиси калия в породе. В бассейне р. Хорбусуонка аналогичные древние тела считаются позднерифейскими.

Слабо алмазоносные кимберлиты *Ингашинского (Окинского) поля* Присяянского алмазоносного района – единственные из магматитов 37 полей СП, которые имеют рифейский возраст. Находится поле на юго-

западе региона, между Красноярском и Иркутском, в бассейне р. Ингаши, притока р. Ока, впадающей в р. Ангара. Здесь, на юго-западе СП (Урикско-Ийский грабен) известны девять жил слюдяных кимберлитов мощностью от первых сантиметров до 1 м при прослеженной длине до 850 м, которые прорывают песчаники и сланцы ингашинской и урикской свит нижнего протерозоя. Исследователи называют эти породы лампроитами, лампроитоидами и ограничивают их нижний возрастной рубеж верхнерифейскими ипситской свиты, с которыми интрузивные образования имеют рвущий контакт.

Каледонский (нижнепалеозойский) этап (570–100 млн лет) предполагается для отдельных участков северной части ВЕП поскольку диатремы и дайки кимберлитов открыты в юго-восточной части Финляндии, алмазоносные породы которой берутся за основу прогнозно-поисковых работ в толщах того возраста ВЕП и прилегающих к ней территориях (Тиман, Урал и др.). Отдельные исследователи высказывают мысль о необходимости расширения географии поисков алмазных месторождений венд-кембрийской эпохи на все площади распространения рифея и венда, перекрытые более молодыми отложениями, чьи мощности не превышают 150–200 м (порога экономической эффективности). На СП раннепалеозойский этап становления кимберлитов отмечен отдельными исследователями [7, 8, 32] для Накынского кимберлитового поля (НКП) и предполагаются их открытие в пределах блоков с повышенными мощностями литосферы (более 200 км).

В последнее время происходит всё большее понимание действительного вклада раннепалеозойского этапа в коренную алмазоносность Виллюйской субпровинции. Основываясь на соотношениях $^{205}Pb/^{238}U$ в цирконах из кимберлитов, признаётся, например, что кимберлиты Мирнинского поля (МКП) формировались в три этапа: позднеордовикский (449.8 млн лет, Амакинская); позднесилурийский (402.8 млн лет, Таёжная); позднедевонский (360–361.5 млн лет; Мир, Интернациональная). При этом по мере омоложения возраста кимберлитов МКП, фиксируется изменение их петрохимических и петрохимических характеристик – уменьшается содержание TiO_2 , FeO , K_2O , P_2O_5 ; становится больше MgO , SiO_2 , Cr_2O_3 ; устойчиво падает электрическое сопротивление. Есть основания предполагать, что и для многих других алмазоносных полей СП возможно такое возрастное разнообразие, хотя общепринятым является мнение о преимущественно среднепалеозойском возрасте продуктивного магматизма основных полей этого региона.

К *раннегерцинскому* этапу (средний девон-ранний карбон, 400–310 млн лет) относится становление всех ныне известных диатрем кимберлитов ААП (с Терским берегом Кольского полуострова), кимберлитов и кимберлитоподобных пород Приазовья, Лужского района Главного девонского поля и Шпицбергена. Прогнозные площади среднепалеозойского и венд-кембрийского магматизма на ВЕП практически совпадают. Наиболее перспективно в плане продуктивности Беломорско-Кулойское плато, Северный и Средний Тиман, а также

известные кимберлитовые поля ААП. Высокобарические ИМК встречены в различных горизонтах франского яруса Воронежской антеклизы. На СП раннегерцинские радиологические даты имеются для кимберлитовых пород 12 полей ЯАП. Основные поля среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов расположены в центральной части СП – Вилюйской субпровинции ЯАП. Однако появляется всё больше данных о среднепалеозойских алмазоносных диатремах Анабарской субпровинции, где они соседствуют с мезозойскими и даже палеогеновыми.

В Куонамском районе среди архейских пород далдынской серии выявлены среднепалеозойские кимберлиты. Поскольку в аллювии в районе трубки Сербьян встречены неизношенные алмазы, предполагается продуктивность этих диатрем. На этом участке на небольшой территории закартировано 8 кимберлитовых даек, попадающих в зону повышенной проницаемости, дешифрируемой на аэрофотоснимках. Длина даек колеблется в пределах 100–700 м. Очень интересные в морфологическом и ценовом аспекте алмазы в каменноугольных отложениях Кютюнгинского грабена на северо-востоке СП, позволяющие предполагать здесь наличие среднепалеозойских кимберлитовых диатрем.

Позднерцинский этап (башкирский век среднего карбона – средний триас, 310–205 млн лет). Алмазоносный минерогенез характерен [8-12, 35] для Предуральского передового прогиба и ряда территорий северо-востока СП. В Куонамском алмазоносном районе потенциально промышленным объектом считают триасовую диатрему Куонамская. Невысокое содержание алмазов в кимберлитах диатремы компенсируется высоким выходом ювелирного сырья. Некоторые исследователи ранее предполагали, что нетрадиционный коренной источник алмазов «эбеляхского типа» также имеет ранне- и среднетриасовый возраст и вероятное пространственное положение в зоне сочленения СП с обрамляющим Енисей-Хатангским прогибом. Подтверждение этому они видели в возрасте встреченного в россыпях трубчатого циркона, ассоциирующего с алмазами северного типа – 215–233 млн лет (ранний триас). Позднее мнение о триасовом возрасте коренного источника алмазов Эбеляха изменилось в пользу докембрийского. Уникальна по минералогическим и геохимическим особенностям своих алмазов триасовая трубка Дьянга Беенчима-Куойского поля. Среди её алмазов больше всего додеказдронидов с шагреньевой поверхностью и кавернами травления, сопровождаемых эклогитовой ассоциацией ИМК (оранжевый гранат и клинопироксен).

К *киммерийскому этапу* (поздний триас-юра, 210–137 млн лет) на ВЕП исследователями отнесено [8, 12, 14, 31-35] пять весьма крупных (до 80 км в диаметре) кольцевых объектов, расположенных преимущественно в окраинных частях древней платформы, наиболее интересными в плане перспектив алмазоносности являются Городецко-Ковернинская, Воротиловская и Карлинская. На СП кимберлиты триаса и юры известны в Анабарской субпровинции ЯАП, а также верхнеюрские лампроиты – на Алданском щите.

Отдельные исследователи полагают [26], что триасовая эпоха на севере ЯАП по продуктивности может оказаться сопоставимой со среднепалеозойской Вилюйской субпровинцией.

Раннеальпийский (меловой) алмазный минерогенез (137–65 млн лет) на ВЕП изучался [8–2, 31–35] в пределах отдельных россыпей и проявлений Воронежской антеклизы, в результате чего установлена полигенность алмазов: кимберлитовые (лампроитовые), метаморфогенные (серые, темно-серые и зеленые кубы) и импактные (сланцевые). На СП меловые магматиты трубчатого типа известны на Анабарском и Алданском щитах. На восточном склоне Анабарского щита под термином «конвергентные с кимберлитами породы», относимыми к юре-мелу, иногда описывают диатремы пикритовых порфиритов, карбонатитов и щелочных базальтоидов, иногда ассоциирующие с кимберлитами. Нижнемеловые лампроиты обнаружены на Алданском щите (Мурунский массив в Центральном Алдане).

В *позднеальпийский* (кайнозойский) этап (65 млн лет) отдельные зерна алмазов и ИМК попадали в титанциркониевые песчаные толщи за счет размыва более древних коллекторов. На СП к этому возрастному интервалу отнесены [10–13, 35] эоценовые Попигайская и Беенчима-Салаатинская вулканогенно-тектонические структуры, содержащие импактные алмазы – поликристаллические полифазные сростки состава графит-чаоит-кубический алмаз-лонсдейлит размерностью до 3 мм (обычно до 0.5 мм). Молодые россыпные месторождения и проявления алмаза широко распространены в Центрально-Сибирской и Лено-Анабарской субпровинциях. Только в пределах ЯАП в пределах площади 400 тыс. км² открыто около сотни россыпей, некоторые из которых разведаны и эксплуатируются.

Заключение

Таким образом, проведенный краткий анализ применяемых методов для геологического изучения регионов показал, что тектонические критерии могут иметь решающее значение при определении перспективности той или иной площади и стадийности проведения на ней дальнейших поисковых работ. Рассматривая наличие или отсутствие структурно-тектонических предпосылок при оценке перспективности любой изучаемой площади, следует иметь в виду объективное и реальное содержание этого понятия, а не те или иные мнения и гипотезы, имеющиеся по данной проблеме в большом количестве и обычно не приводящие к осязаемым практическим результатам по причине несостоятельности или из-за отсутствия возможности их практической геологической проверки. В действительности в большинстве своем известные в настоящее время кимберлитовые поля обнаружены благодаря тому, что их крупные алмазоносные диатремы (трубки-лидеры), будучи еще не перекрыты осадочными или магматическими образованиями, создали контрастные ореолы и первичные потоки рассеяния ИМК в древних или четвертичных коллекторах. Минералогический метод поисков в таких условиях, даже без совершенство-

ванных современных методик диагностики минералов, оказался достаточным для открытия кимберлитовых полей, а в их пределах – трубок.

Следует при этом отметить, что геологическая изученность и надежность структурно-тектонических предпосылок (в особенности их глубинность) в периоды первичного исследования таких территорий была далеко не достаточной для выработки тектонических концепций и особенностей их применения на практике. Если в такие периоды зачастую обходились без подобных сведений, то в настоящее время прогресс в деле открытия новых кимберлитовых полей (а в их пределах и кимберлитовых трубок) в сложных условиях поисков на закрытых территориях практически невозможен без привлечения тектонических и геофизических предпосылок, основанных на глубинном изучении недр, и их практического применения с использованием надежного геолого-вещественного материала по конкретным площадям. Между тем структурно-тектоническая изученность СП и ВЕП остаются не на высоком требуемом уровне. Благодаря проведенной региональной нефтяной сейсморазведке, получены материалы для построения структурных карт на отдельных территориях платформ, но их точность сегодня не удовлетворяет требованиям алмазной геологии (особенно в отношении картирования разрывных нарушений). Для более эффективного использования таких карт необходима существенная корректура вещественными материалами из скважин глубинного бурения. Особенно слабо изучен геолого-геофизическими методами кристаллический фундамент платформ (за исключением щитов). Некоторые сведения об его вещественном составе на закрытых территориях древних платформ получены по ксенолитам глубинных пород из кимберлитовых диатрем. Однако совершенствование научного прогнозирования кимберлитовых полей платформ практически неосуществимо без усиления его глубинного геолого-геофизического доизучения, что позволит на фактическом материале проверить реальность тех или иных гипотез и предположений.

Анализ гипотез о тектонической обстановке проявлений кимберлитового магматизма показывает, что они ограничены всё ещё не полным пониманием генезиса кимберлитов и неопределенностями в корреляциях между сублитосферными процессами, ведущими к образованию этих ультраосновных пород и геотектонической обстановкой в верхних частях литосферы (земной коры), где они локализуются. Рассматривая выделенные различными исследователями тектонические и глубинные факторы алмазопрогнозирования, можно разделить их на две основные группы. Первая группа критериев касается особенностей пространственно-временного распределения щелочно-ультраосновных магматитов и характеризует различные разломные структуры как основные транспортеры алмазов. Вторая группа связывает потенциальную алмазоносность с особенностями тектонического строения фундамента и развития территории на дофанерозойском этапе развития (степень кратонизации) и такими режимами

внутриплитной тектонической активности в позднем докембрии-фанерозое как процессы рифтогенеза. Важными при этом являются, кроме сейсмических исследований, комплексные электроразведочные, грави- и магнитометрические исследования кимберлитов и траппов, развитых в алмазоносных регионах, что приведёт к ряду интересных и новых результатов, имеющих не только общетеоретическое значение. Такие результаты могут быть использованы при решении прикладных геолого-геофизических задач при алмазопроизводственных работах.

Интересные и полезные результаты при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы могут быть получены с помощью разработанной и апробированной на примере ВЕП методики космических исследований [2, 35]. Наиболее реальными объектами при оценке новых территорий, по мнению разработчиков этого метода, следует считать районы кимберлитового магматизма, которые представляют собой сложно построенные радиально-кольцевые структуры «очагового» генезиса, закономерно расположенные в узлах пересечения рифтогенов, развивающихся унаследовано по элементам радиально-концентрических систем планетарного и регионального рангов. Своим возникновением такие районы обязаны сравнительно небольшому мантийным диапирам, место внедрения которых в земную кору подготовлено суммой предшествующих тектонических событий. Магматические и флюидные отщепления этих образований предопределили вынос кимберлитов с алмазами к земной поверхности. Поля кимберлитов и лампроитов целесообразно искать только в пределах районов, где они локализуются в участках с достаточно стандартным набором структурных факторов. Задача поисков конкретных алмазоносных тел методами дистанционного зондирования может решаться лишь при благоприятных геологических и ландшафтных условиях.

При анализе разновозрастных алмазоносных магматитов речь всегда идет о глубинном веществе, близком по составу во все времена (если говорить о кимберлитах и лампроитах), распространенных на многих континентах. Последовательно, этап за этапом, рассматривая историю глубинного магматизма отдельных регионов Земли, установлено, что масштабы коренной алмазоносности в истории геологического развития резко, пульсационно и скачкообразно менялись. Это позволяет прогнозировать и открывать отдельные этапы этого ультраосновного магматизма. Поскольку в пределах древних платформ мира отмечена алмазоносность практически всех выделенных эпох мощного корообразования и продуктивного магматизма, то очень важно накапливать и анализировать материалы по наличию таких образований в пределах конкретных кратонов. Это в конечном итоге позволит расширить возрастной диапазон перспективных на алмазы площадей и территорий, что наглядно показано на примере Сибирской и Восточно-Европейской платформ.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 68, 2013. 99 с.
2. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра. 2001. 198 с.
3. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // *Доклады Академии наук*. 1998. Т.361. №3. С. 366–369.
4. Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М. Петрохимия кимберлитов. М.: Недра. 1991. 304 с.
5. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // *Геология и геофизика*. 1992. №7. С. 99–109.
6. Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // *Литология и полезные ископаемые*. 1995. №6. С.594–601.
7. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1996. №1. С.53–61.
8. Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А. Тектонофизические исследования при алмазописковых работах. Методическое пособие. М.: Научный мир. 2008. 175 с.
9. Дукардт Ю. А., Борис Е. И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. Воронеж: ВГУ. 2000. 161 с.
10. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А. Проблема алмазоносности Сибирской платформы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2002. №1. С. 19–36.
11. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырëв Л. Т., Ильяш В. В., Афанасьев Н. С. Алмазоносность Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. 2003. Вып.17, 121 с.
12. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т.41. №3. С. 281–288.
13. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // *Руды и металлы*. 1999. №3. С. 18–30.
14. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Коптиль В. И., Чашка А. И., Полканов Ю. А., Палкина Е. Ю., Хренов А. Я., Шевырëв Л. Т. Сравнительная характеристика типоморфных особенностей алмазов из терригенных отложений Воронежской антеклизы (Липецкая область) и Украинского щита (Среднее Приднестровье) в связи с проблемой прогнозирования и поисков их коренных источников // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2004. №2. С. 99–110.
15. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1997. №2. С.53–63.
16. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 2001. Т.76. №1. С. 45–53.
17. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2003. №2. С. 57–68.
18. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 2006. №5. С. 19–25.
19. Зинчук Н. Н., Специус З. В., Зуенко В. В., Зуев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования). Новосибирск: НГУ. 1993. 147 с.
20. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // *Доклады АН СССР*. 1987. Т.296. №5. С.1228–1233.
21. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2000. №3(9). С. 37–55.
22. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. М.: Недра. 1999. 224 с.
23. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. №1. С.90–96.
24. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра. 2001. 428 с.
25. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Т. Особенности минерации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ. 2004. 172 с.
26. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // *Геология и геофизика*. 1987. №10. С. 66–72.
27. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ // *Горный вестник*. 1997. №3. С. 53–57.
28. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логвинова А. Н. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // *Записки Российского минералогического общества*. 2009. Т.138. №2. С. 1–13.
29. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L., Natapov L. M., Matuchyan G. A. Diamond prospects in the Southwestern plank of the Tungusk Sineklise // *Geology of ore Deposits*. 2005. Vol.47. No. 1. P. 45–62.
30. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I., Zinchuk N. N., Krasavchikov V. O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // *Journal of Geochemical Exploration*. 2002. Vol.76. No. 2. P. 93–112. DOI: 10.1016/S0375-6742(02)00219-4
31. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol.465. No. 2. P. 1297–1301. DOI: 10.1134/S1028334X15120193
32. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // *Petrology*. 2001. Vol. 9. No.6. P. 576–588.
33. Савко А. Д., Шевырëв Л. Т., Ильяш В. В. Ассоциация минералов-индикаторов алмазоносности в осадочном чехле Воронежской антеклизы. *Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения*. Воронеж, 2001. С. 423–433.
34. Черешинский А. В., Савко А. Д. Акцессорные минералы базальных горизонтов Воронежской антеклизы (в связи с вопросами алмазоносности). Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 48, 2007. 120 с.
35. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырëв Л. Т. Историческая минерация. В 3-х томах. Том 1. Введение в историческую минерацию. Воронеж: ВГУ. 2005. 587 с; Том 2. Историческая минерация древних платформ. Воронеж: ВГУ. 2007. 570 с. Том 3. Историческая минерация подвижных суперпооясов. Воронеж: ВГУ. 622 с.

Geological research in prospecting for diamond deposits

©2021 N. N. Zinchuk[✉]

*West-Yakutian Scientific Centre of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha
(Yakutia), 16 Chernyshevskoe shosse, Mirny 678170, Russian Federation*

Abstract

Introduction: Among more than 5000 kimberlite diatremes and dykes on the Earth, at least 500 original diamond-bearing structures were found. The effectiveness of the Schlich-mineralogical method of prospecting for new diamond deposits is complicated in the areas with thick sedimentary strata. Therefore, the need for the use of a combination of geological and geophysical research becomes the most important factor when solving forecasting and prospecting problems.

Methodology and research efforts: The Schlich-mineralogical method is not very effective in the forecasting of and prospecting for new kimberlite fields and pipes as it is impossible to perform detailed paleogeographic reconstructions due to the insufficient and fragmentary initial geological information. The study of kimberlite magmatism usually requires the use of tectonic and geophysical data on the structure of the section-composing strata and their mineralogical and petrophysical characteristics as well as a comprehensive study of pipe kimberlites and the deep rock xenoliths contained in them. Tectonic, geophysical, space, and historical-mineragenic are the main types of research needed for the geological study of diamond-promising areas. The main geological and tectonic research methods are regional geological and geophysical works. They include a wide range of seismic, gravimetric, magnetometric, and electrical exploration works as well as crosshole tests with various approaches and variations depending on the specific structure of the promising areas. Their methodology involving the use of a large amount of data, including the author's data, and is based on the diamond potential of the Siberian and East European platforms. These are the leading methods for covered areas where scattering halos of kimberlite minerals have been repeatedly redeposited and detached from their primary sources.

Results and discussion: We studied the tectonic history of diamond-bearing magmatism by eight main productive Paleogene and Neogene epochs: Pre-Riphean, Riphean, Early Paleozoic (Caledonian), Middle Devonian – Early Carboniferous (Early Hercynian), Middle Carboniferous – Middle Triassic (Late Hercynian), Late Triassic – Jurassic (Cimmerian), Cretaceous (Early Alpine), and Paleogene – Neogene (Late Alpine). Kimberlite fields with or without diamond-bearing diatremes, dykes, veins, and subtabular deposits are associated with thermoblemes. These fields, which are of all ages on ancient platforms, are affected by lineament rifts of Riphean and Phanerozoic aulacogenes. Kimberlite bodies are inclined towards low-amplitude tectonic disturbances, including those in the peripheral parts of aulacogenes. Analysis of the factual data allowed recommending a prospecting strategy for primary diamond deposits at the level of kimberlite fields for both the Siberian and East European platforms as well as other ancient platforms of the world. The standard rational geological and geophysical complex should be used only within the orthocratons. The goal of the system for forecasting geological and geophysical research is to determine the thermoblemes within any given orthocratons which are preliminarily determined based on the maps of gravitational and magnetic fields. The geological and geophysical data is studied in order to discover the



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Nikolay N. Zinchuk, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

signs of lineament rifts crossing thermoblemes. In case of a positive result, structural mapping of the thermobleme area will be required using structural drilling, GIS, and shallow seismic exploration, which will allow mapping the disturbances as well. The obtained structural map will allow outlining the kimberlite field, and in the future its structural elements will become the basis for the selection of specific promising areas for prospecting for kimberlite bodies.

Conclusion: The areas of kimberlite magmatism should be considered the most realistic sites for the assessment of the diamond potential of new areas. They are complex radial ring structures of “local” genesis consistently located at the intersection nodes of riftogens that are inherently developing along the elements of planetary and regional radial concentric systems. Such areas emerged due to the relatively small mantle diapirs whose place of penetration into the earth’s crust was prepared by all the previous tectonic events. Magmatic and fluid eliminations of these formations predetermined the exposure of kimberlites with diamonds to the earth’s surface. It is recommended to prospect for kimberlite and lamproite fields only within the areas where they are localised in the sections with a standard set of structural factors. The latter are determined by regional geological studies. The use of space, historical-mineragenic, and geophysical research is highly important in this case.

Key words: structural-tectonic analysis, geophysical, space and historical-mineragenic research.

For citation: Zinchuk N. N. Geological research in prospecting for diamond deposits. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021, no. 4, pp. 35–52. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.4/3789>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

- Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth.]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 68, 2013, 99 p. (In Russ.)
- Serokurov Yu. N., Kalmykov V. D., Zuev V. M. *Kosmicheskie metody pri prognozirovanii i poiskakh mestorozhdenii almazov* [Cosmic methods in forecasting and prospecting for diamond deposits]. Moscow, Nedra publ., 2001, 198 p. (In Russ.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Poligenez almazov v svyazi s problemoi korennykh rossypei severo-vostoka Sibirskoi platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the north-east of the Siberian platform]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, 1998, vol. 361, no. 3, pp. 366–369. (In Russ.)
- Khar'kiv A. D., Zuenko V. V., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I., Ukhonov A. V., Bogatykh M. M. *Petrokhimiya kimberlitov* [Petrochemistry of kimberlites]. Moscow: Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
- Zinchuk N. N. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoi i Vostochno-Evropейskoi platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1992, no. 7, pp. 99–109. (In Russ.)
- Kotel'nikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N. Osnovnye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Basic laws of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types]. *Lithology and Mineral Resources – Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1995, No. 6, pp. 594–601. (In Russ.)
- Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous minerals]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1996, no. 1, pp. 53–61. (In Russ.)
- Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A. *Tektonofizicheskie issledovaniya pri almazopoyiskovykh rabotakh*. Metodicheskoe posobie [Tectonophysical research at diamond prospecting works. Toolkit]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
- Dukardt Yu. A., Boris E. I. *Avlakogenez i kimberlitovyi magmatizm* [Avlacogenesis and kimberlite magmatism]. Voronezh: Voronezh State University publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Tychkov S. A. Problema almazonosnosti Sibirskoi platformy [The problem of diamond content of the Siberian platform]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2002, no. 1, pp. 19–36. (In Russ.)
- Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrev L. T., Il'yash V. V., Afanas'ev N. S. Almazonosnost' Voronezhskoi anteklizy [Diamond content of the Voronezh antecline]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., 2003, vol.17, 121 p. (In Russ.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnye litodinamicheskie tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [Basic lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites and conditions of their formation]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii – Geology of ore deposits*, 1999, vol. 41, no. 3, pp. 281–288. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdenii [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for prospecting for diamond deposits]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 1999, no. 3, pp. 18–30. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Savko A. D., Koptil' V. I., Chashka A. I., Polkanov Yu. A., Palkina E. Yu., Khrenov A. Ya., Shevyrev L. T. Sravnitel'naya kharakteristika tipomorfnykh osobennosti almazov iz terrigenykh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy (Lipetskaya oblast') i Ukrainetskogo shchita (Srednee Pridnestrov'e) v svyazi s problemoi prognozirovaniya i poiskov ikh korennykh istochnikov [Comparative characteristic of typomorphic features of diamonds from terrigenous deposits of the Voronezh antecline (Lipetsk region) and the Ukrainian shield (Middle Transnistria) in connection with the problem of forecasting and searching for their primary sources]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2004, no. 2, pp. 99–110. (In Russ.)
- Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsii [Features of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1997, no. 2, pp. 53–63. (In Russ.)

16. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Usloviya nakopleniya i post-sedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoi formatsii [Conditions of accumulation and post-sedimentary transformation of clay minerals in the sediments of the terrigenous formation]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel geologichesk – Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological department*, 2001, vol. 76, no. 1, pp. 45–53. (In Russ.)
17. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Ob anomalii obshchei skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhении soderzhashchikh ikh otlozhenii v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2003, no. 2, pp. 57–68. (In Russ.)
18. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N., Kuz'min V. A. Morfogeneticheskie raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetriviya i osadochnom chekhle zemnoi kory. Stat'ya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetriviya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earth's crust. Article 1. The mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical types of rocks]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2006, no. 5, pp. 19–25. (In Russ.)
19. Zinchuk N. N., Spetsius Z. V., Zuenko V. V., Zuev V. M. *Kimberlitovaya trubka Udachnaya (veshchestvennyi sostav i usloviya formirovaniya)* [Udachnaya kimberlite pipe (material composition and formation conditions)]. Novosibirsk, NGU publ., 1993, 147 p. (In Russ.)
20. Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D. Primenenie klaster-analiza dlya vyasneniya zakonomernosti vyvetriviya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to clarify the weathering patterns of rocks of different composition]. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR – Doklady AN SSSR*, 1987, vol. 296, no. 5, pp. 1228–1233. (In Russ.)
21. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamicheskii kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh polei tsentral'noi i severnoi chastei Yakutskoi kimberlitovoi provintsii (petrokhimicheskii aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakutsk kimberlite province (petrochemical aspect)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2000, no.3(9), pp. 37–55. (In Russ.)
22. Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. *Tipomorfizm mikrokrystallov almaza* [Typomorphism of diamond microcrystals]. Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
23. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Mineralogiya drevnikh rossypei almazov vostochnogo borta Tunguskoj sineklizy [Mineralogy of ancient diamond placers of the eastern side of the Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 1, pp. 90–96. (In Russ.)
24. Matsyuk S. S., Zinchuk N. N. *Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhnei mantii* [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle]. Moscow, Nedra publ., 2001, 428 p. (In Russ.)
25. Zinchuk N. N., Boris E. I., Yanygin Yu. B. *Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoiskikh otlozhenii Sibirskoi platformy)* [Peculiarities of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)]. Moscow, MGT publ., 2004, 172 p. (In Russ.)
26. Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P. Apokimberlitovye porody [Apokimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 10, pp. 66–72. (In Russ.)
27. Zinchuk N. N., Zuev V. M., Koptil' V. I., Chernyi S. D. Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting operations]. *Gornyi vestnik – Mining Bulletin*, 1997, no. 3, pp. 53–57. (In Russ.)
28. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Logvinova A. N. Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriiskimi istochnikami [Peculiarities of distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources]. *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva – Notes of the Russian Mineralogical Society*, 2009, vol. 138, no. 2, pp. 1–13. (In Russ.)
29. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L., Natapov L. M., Matuchyan G. A. Diamond prospects in the Southwestern plunk of the Tungusk Sineklise. *Geology of ore Deposits*, 2005, vol.47, no. 1, pp. 45–62.
30. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I., Zinchuk N. N., Krasavchikov V. O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 2002, vol.76, no. 2, pp. 93–112. DOI: 10.1016/S0375-6742(02)00219-4
31. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. *Doklady Earth Sciences*, 2015, vol. 465, no. 2, pp. 1297–1301. DOI: 10.1134/S1028334X15120193
32. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. *Petrology*, 2001, vol. 9, no.6, pp. 576–588.
33. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V. Assotsiatsiya mineralov-indikatorov almazonosnosti v osadochnom chekhle Voronezhskoi anteklizy. Problemy almaznoi geologii i nekotorye puti ikh resheniya. Voronezh, 2001. C. 423–433.
33. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V. Assotsiatsiya mineralov-indikatorov almazonosnosti v osadochnom chekhle Voronezhskoi anteklizy [Association of diamond indicator minerals in the sedimentary cover of the Voronezh anteclise]. *Problemy almaznoi geologii i nekotorye puti ikh resheniya* [Problems of diamond geology and some ways to solve them.]. Voronezh, 2001, pp. 423–433. (In Russ.)
34. Chereshinskiy A. V., Savko A. D. Aktssessornye mineraly bazal'nykh gorizontov Voronezhskoi anteklizy (v svyazi s voprosami almazonosnosti) [Accessory minerals of the basal horizons of the Voronezh anteclise (in connection with the diamond content)]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 48, 2007, 120 p. (In Russ.)
35. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. *Istoricheskaya minerageniya*. [Historical Minerageny]. In 3 vol. Vol. 1. *Vvedenie v istoricheskuyu minerageniyu*. [Introduction to historical minerageny]. Voronezh, VSU publ., 2005, 587 p; Vol. 2. *Istoricheskaya minerageniya drevnikh platform*. [Historical Minerageny of Ancient Platforms]. Voronezh, VSU publ., 2007, 570 p. Vol. 3. *Istoricheskaya minerageniya podvizhnykh superpoyasov*. [Historical minerageny of mobile superbelts]. Voronezh, VSU publ., 622 p. (In Russ.)

Зинчук Николай Николаевич – д. г.-м. н., профессор, академик Академии наук РС (Якутия), председатель ЗЯИЦ АН РС (Я), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Nikolai N. Zinchuk – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., professor, academician of the Academy of Sciences of the RS (Yakutia), chairman of West-Yakutian Scientific Centre of the SR (Yakutia) Academy of Sciences, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Author have read and approved the final manuscript.