

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

**О перспективах развития сырьевой базы Северо-Запада
Республики Саха (Якутия) и Северо-Востока
Красноярского края, проблемах и возможностях ее
освоения**

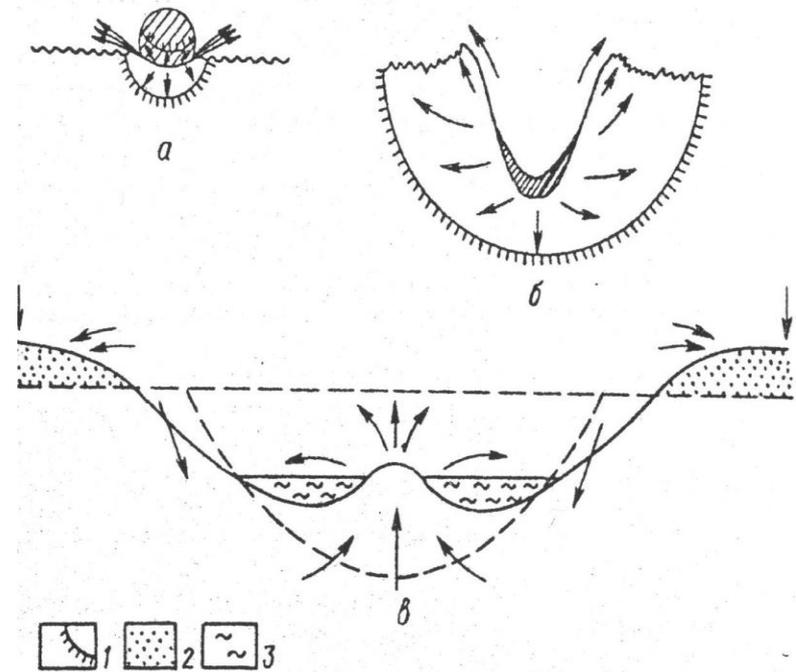
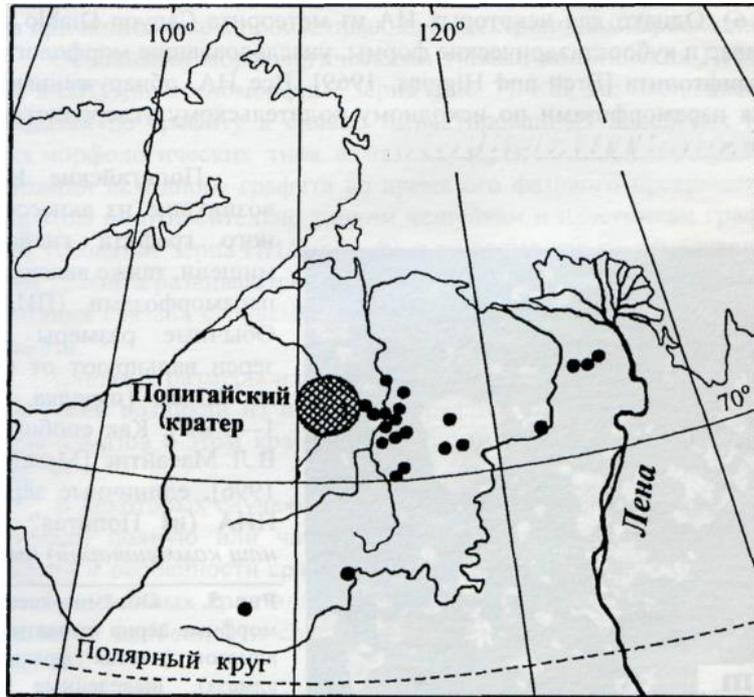
**Академик РАН Н.П. Похиленко,
Академик РАН В.А. Крюков,
Доктор геол.-мин. наук В.П. Афанасьев**

НОВОСИБИРСК – КРАСНОЯРСК - ЯКУТСК - 2021

В двух федеральных документах по Арктической зоне РФ: «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечение национальной безопасности на период до 2035 года», утвержденных Указами Президента РФ 5 марта и 26 октября 2020 соответственно, особое внимание уделяется необходимости развития сырьевой базы добывающей промышленности Арктики

В частности, в Разделе 5 первого документа отмечено: *Основными национальными интересами Российской Федерации в Арктике являются: ...пункт 5 г) развитие Арктической зоны Российской Федерации в качестве стратегической ресурсной базы и ее рациональное использование в целях ускорения экономического роста Российской Федерации.* Во втором документе указывается на необходимость освоения Попигайского месторождения импактных алмазов в Арктической зоне Красноярского края, Томторского месторождения редких и редкоземельных металлов, а также развития сырьевой базы алмазов в арктических районах Республики Саха (Якутия).

Попигайская астроблема



1- фронт ударной волны; 2- материал зоны выброса;
3- зоны плавления и брекчирования.

Стрелки показывают направления движения материала

~ 36 млн. лет назад метеорит размером ~ 6 км со скоростью около 30 км/сек врезался в Землю в арктической части Сибирской платформы, образовав кратер диаметром около 100 км, причем при взрыве, длившемся около 1 секунды, давления достигали 140 GPa (1,4 млн. атм.), а температура - 3000-4000° С. В этих условиях часть графита, содержащегося в кристаллических породах мишени, трансформировалась в агрегат наноразмерных кристаллитов кубического алмаза и более плотной и твердой гексагональной фазы углерода – лонсдейлита. Абразивная способность этого сверхтвердого материала в 1,5-2,5 раза превышает таковую для природных и синтетических алмазов, износостойкость – в 3-6 раз. Прогнозные ресурсы месторождения измеряются триллионами карат, поставленные на баланс запасы – 330 млрд. карат, что почти в 70 раз выше суммарных мировых запасов обычных алмазов.

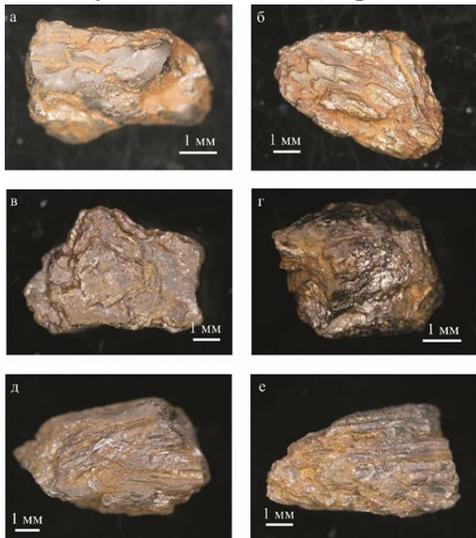
Импактные алмазы

Два типа импактных алмазов:

1 – алмазы, добываемые при дроблении коренной породы – тагамита, размер менее 1 мм.



2 – якутиты – алмазы из россыпей



Основное преимущество импактных алмазов в сравнении с другими – в среднем в два раза более высокая абразивная устойчивость и повышенная на 200-250° в сравнении с синтетическими термостойкость; их удельная поверхность составляет 0,7–0,8 м²/г, что в два раза превосходит удельную поверхность синтетических алмазов и способствует хорошему удержанию импактных алмазов при компактировании с различными связками.

Этим определяется высокая привлекательность их использования в современных технологиях, для которых *качеств синтетических алмазов – основного вида абразивного сырья в настоящее время, уже недостаточно.*

Основной принцип использования импактных алмазов – замещение ими синтетических и природных технических алмазов в соответствующих технологиях. Выигрыш – в расширении возможностей технологии, в производительности, в снижении производственных затрат.

Технологические свойства импактных алмазов

Результаты испытаний абразивной способности алмазных шлифпорошков, полученных из импактного и синтетического сырья

Порошки импактного алмаза		Порошки синтетического алмаза	
Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.	Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.
-40	8,01	-40	3,70
50/40	8,45	50/40	3,90
63/50	8,60	63/50	4,00
80/63	8,71	80/63	4,21
100/80	9,60	100/80	4,30
125/100	8,41	125/100	4,52
160/125	9,5	160/125	4,58
200/160	7,71	200/160	4,52
250/200	8,02	250/200	4,47

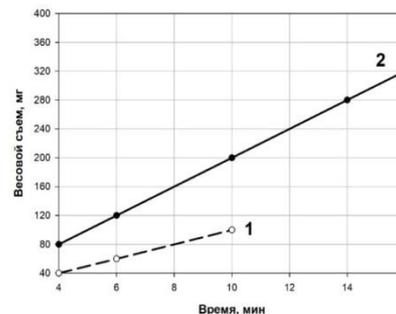
Благодаря уплощенной форме частиц импактных алмазов *они обеспечивают чистоту обрабатываемой поверхности примерно на класс выше, чем синтетические алмазы*, частицы которых имеют изометричную форму и царапающие углы и вершины.

Основной объем технологических исследований проводится совместно с НАН Беларуси, где хорошо понимают ценность импактных алмазов и с энтузиазмом работают с ними. К сожалению, в России в настоящее время нет центров, где могли бы проводиться такие исследования. ВНИИАлмаз, который курировал в 1971-1986гг. Попигайский проект и закрыл его, практически не работает.

Результаты технологических испытаний показали, что *абразивный состав на основе импактных алмазов при магнитно-абразивной обработке пластин кремния обладает в 1,5–2 раза более высокой абразивной способностью и более чем в 2 раза более высокой стойкостью (временем эксплуатации) по сравнению с составом на основе синтетического алмаза АСМ.*

Результаты сравнительных испытаний алмазных композитов

Характеристика композиционного порошка	Обрабатываемый материал	Удельный съем материала, мг/мин	Стойкость, мин
Fe-Ti/имп.алм. 5/50мкм	Кремний	35,4	> 30
Fe-Ti/АСМ 5/50	Кремний	17,8	14



Стойкость алмазных композитов на основе синтетических алмазов АСМ (1) и импактных алмазов (2) на операции обработки пластин кремния.

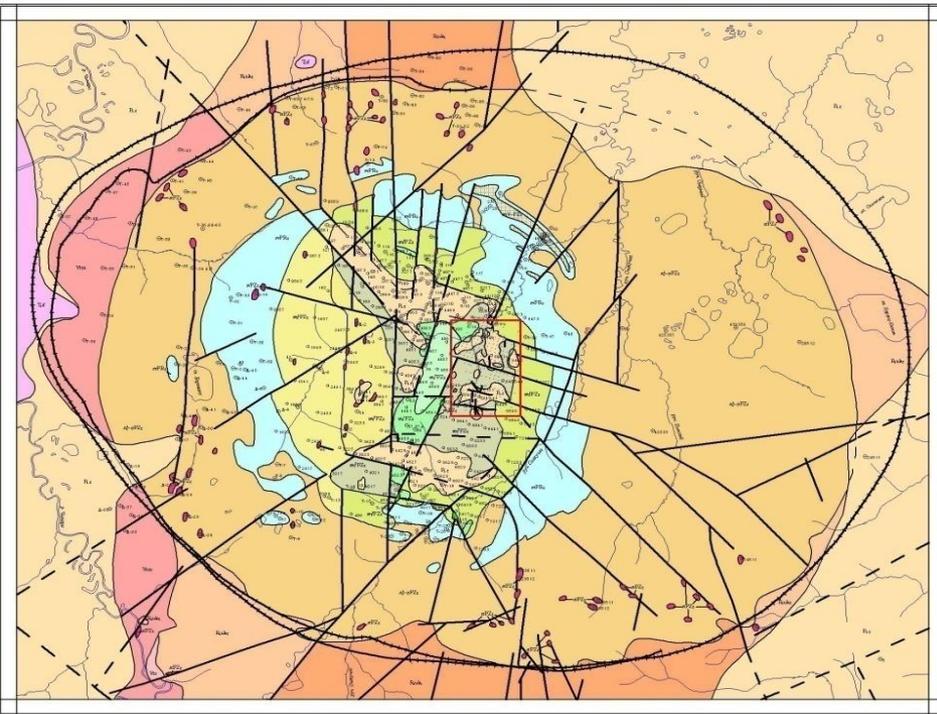
Обеспечение экономики страны редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ) носит критический характер для национальной безопасности и является важным условием модернизации промышленности. Без РМ и РЗМ невозможно полноценное внедрение 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 07 июня 2011 г. № 899, в том числе:

- базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;
 - базовые технологии силовой электротехники;
 - нано-, био-, информационные, когнитивные технологии;
- технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- технологии информационных, управляющих, навигационных систем; технологии наноустройств и микросистемной техники;
- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;
 - технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов;
 - технологии получения и обработки функциональных наноматериалов;
- технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;
- технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;
- технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Редкие и редкоземельные элементы в современных высокотехнологичных отраслях промышленности

Высококачественные стали и сверхсильные магниты	Nb, V, TR, Sr, Zr
Сверхжаропрочные и сверхлегкие сплавы	Nb, Ta, Be, Li, Y, Sc, Zr, Re
Новое поколение авиационных и космических двигателей	Re, Nb, Hf
Сотовая и волоконнооптическая связь	Ta, Zr, La, Er, Ge, Ga, In
Дисплеи персональных компьютеров	Y, Eu, Tb, Ce, Sr, In, Ga
Новые химические источники тока	Li, La, Nd, Zr, Y
Высокоэффективные катализаторы	Re, TR, V, Ge, Sb
Сверхпроводники	Nb, Y, Sr, Bi
Новейшие медицинские препараты	Ge, Re, Bi, Se, V

Геологическая карта массива Томтор (Толстов, 1998):



(масштаб 1:150 000)

Рис. Обзорная карта массива Томтор

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

	Триасовая система. Нижний отдел. Туфолобовая толща. Туфы, лавы, платобазальты.		Безрудная группа Карбонатиты безрудные (кальциевые и доломит-кальциевые)
	Пермская система. Нижний-верхний отдел нерасчлененные. Конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли.		Кальцит-микроклин-слоистые породы
	Венд. Томторская свита. Песчаники, гравелиты, алевролиты.		Камафориты (кальцит-флогопит-магнетитовые породы)
	Верхняя подсвита. Доломиты, сланцы, алевролиты.	Комплекс силикатных пород	
	Нижняя подсвита. Доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники.		Щелочно-ультраосновные породы альеинитингуашитовой серии (альеиниты, щелочные тикриты, тингуашиты и др.)
Эндегенные образования массива Томтор			Щелочные и нефелиновые сиениты
Карбонатитовый комплекс			Фонидолиты (нефелин-тироксеновые породы ряда якутирансит-уртит)
Рудная группа		Прочие обозначения	
	Карбонатитовые брекчии	Геологические границы	
Редкометальная подгруппа		Тектонические нарушения:	
	Карбонатиты редкометальные (анкеритовые)	а) достоверные	
	Анкерит-шамозитовые породы	б) предполагаемые или погребенные	
Фосфорно-редкометальная подгруппа		Границы массива Томтор:	
	Карбонатиты фосфорно-редкометальные (полиминеральные)	а) по данным магниторазведки;	
	Апатит-микроклин-слоистые породы	б) по данным гравитразведки.	
	Контур участка Буранный		

Общие ресурсы Томторского месторождения колоссальны: Nb_2O_5 – 73.636 млн.т., TR_2O_3 - 153.706 млн.т., P_2O_5 - около 2 млрд.т.

По ресурсам редких элементов и их концентрациям Томтор является безусловным лидером нашей планеты. В мире такие объекты редки, поэтому Томтор по праву стоит в одном ряду с месторождениями-гигантами, такими, как Виттватерсранд или **Сухой лог (золото), **Чукикамата** (медь), **Норильская группа** (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе РЗЭ объектов, опередив месторождения ниобия (Араша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай).**

Вариант переработки 2 (железнодорожная схема), Кузьмин В.И., 2012

Продукт	Чистота, %	Выход, т. с 1 т руды	Извлечение, %
Оксиды РЗМ			
В т.ч. La_2O_3	99,996 %	20,5 кг	78,8
CeO_2	99,99-99,995	42,0 кг	66,9
Nd_2O_3	99,5-99,99	4,3 кг	77,7
Pr_6O_{11}	96%	16,8 кг	77,7
Sm_2O_3	99,5-99,995%	2,1 кг	82,8
Eu_2O_3	99,99%	0,66 кг	82,8
Gd_2O_3	99,5-99,999%	2,05 кг	81,9
Tb_2O_3	99,5-99,995%	0,16 кг	80,6
Dy_2O_3	99,98	1,25 кг	82,8
Ho_2O_3	99,5-99,995%	0,16 кг	82,5

Er_2O_3	99,5-99,995%	0,33 кг	82,5
Tm_2O_3	99,5-99,998%	0,083 кг	83,3
Yb_2O_3	99,5-99,998%	0,33 кг	82,9
Lu_2O_3	99,5-99,998%	0,080 кг	80,1
Y_2O_3	99,95-99,99%	20,5 кг	77,9
ФН658	60%	66 кг	85,0
$3\text{Sc}_2\text{O}_3$, ТУ 95-148-77	99,9 %,	0,57 кг	82,0
4Тринатрий фосфат, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, ГОСТ 20176-77.	не менее 95%; оксид ванадия не более 0,005%	0,77 т	85,0
5Al(OH) ₃ марка Г-00.	класса +45-125 мкм 80-85%.	0,22 т	85,0
TiO ₂	5-7% Al	28 кг	88

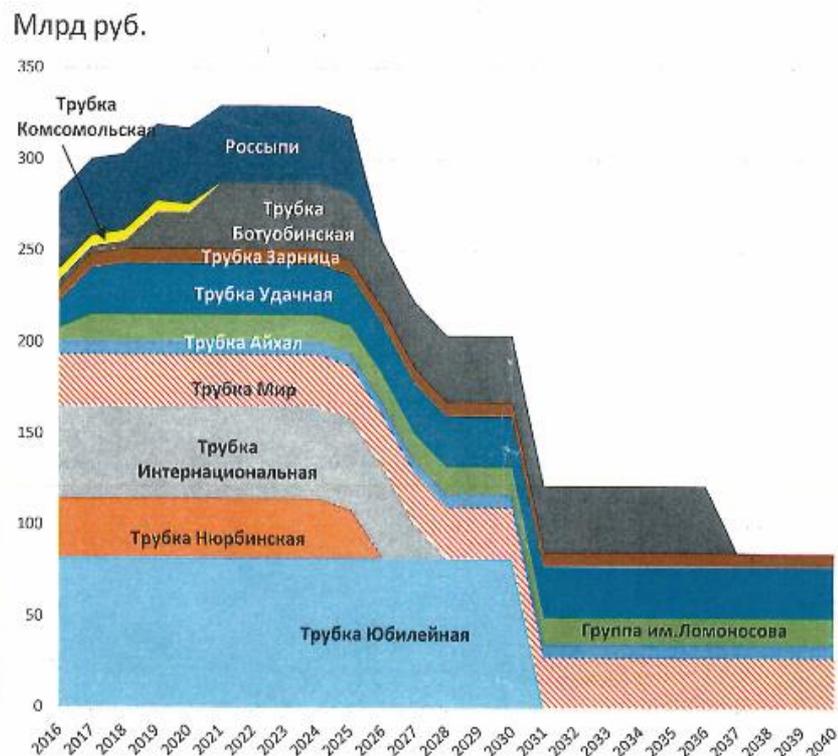
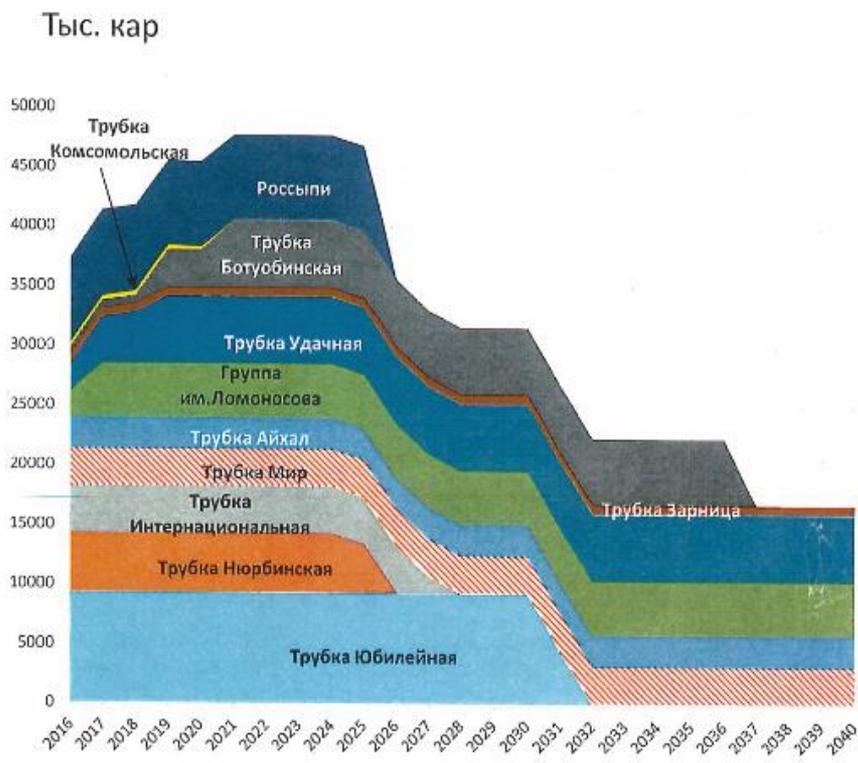
Прогноз цен на товарную продукцию, получаемую из руд Буранного участка Томторского м-я (долл/кг)

Оксиды РЗМ, чистота, %	1. Наиболее вероятный	2. Максимальный	Минимальный
Ниобий технический (95%)	60	72	48
Скандий (99,9%)	1500	1750	1200
Иттрий (99,9%)	50	60	40
Лантан (99,99%)	25	30	20
Церий оксид (99,9%)	20	25	15
Неодим (99,9%)	90	100	70
Празеодим (96%)	90	100	70
Самарий (99%)	20	25	15
Европий 99%)	1000	1200	800
Карбонаты РЗМ	12	15	10
Диоксид титана (99,9%)	2,5	3,2	2,2

Для успешной реализации вовлечения первой очереди Томторского месторождения в промышленное освоение необходимо на первом этапе в 2021-2025 г.г. выполнить **следующие виды НИР и НИОКР, которые позволят обеспечить Россию РЗЭ:**

- **Детальное изучение на современном уровне с использованием новейших методов и аналитической аппаратуры вещественного состава (минералогии, геохимии, петрологии) коренных щелочных, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов массива Томтор с целью установления закономерностей образования уникальной рудоносности**
- **Проведение НИР и НИОКР по доработке оптимальной схемы извлечения редких элементов из исходной руды и промежуточных продуктов гидрометаллургического передела с разработкой технологического регламента, включающего обоснование ассортимента получаемой высоколиквидной товарной продукции и логистические решения для размещения предприятий по их переделу.**
- **Институты СО РАН (ИГМ, ИГАБМ, ИХХТ, ИЭОПШ) готовы к решению этих задач. В них имеется научно-технический потенциал, высокопрофессиональные кадры, надежно обеспечивающие выполнение всего комплекса необходимых НИР: научно-методического сопровождения разведочных, опытно-промышленных и разведочно-эксплуатационных работ, включая геолого-экономическую оценку и технологическое обеспечение переработки руды в готовые конечные высоколиквидные и дефицитные продукты, содержащие РЗЭ.**

Прогноз добычи алмазов на основных месторождениях России в натуральном (тыс. карат) и денежном (млрд. руб.) выражении



По данным Группы АЛРОСА и ГБЗ

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ВЕРХОЯНЬЯ

Основные перспективы коренной алмазоносности арктических территорий Сибирской платформы связываются со среднепалеозойскими кимберлитами. С учетом существенного осложнения ситуации с сырьевой базой отечественной алмазодобывающей промышленности начиная уже с 2030 года по причине последовательного исчерпания экономически качественных балансовых запасов необходима постановка опережающих работ по выявлению новых объектов с алмазным сырьем в арктических регионах Сибирской платформы. В частности, в верховьях правых притоков реки Анабар в районе Уджинского поднятия, а также на территориях северного и южного обрамления Кютюнгинского прогиба установлены прямые признаки присутствия новых полей кимберлитов среднепалеозойского возраста, содержащих высокопродуктивные тела. Для их выявления необходимо проведение тематических работ прогнозно-поискового характера с использованием научно-методического и экспертного сопровождения специалистов Сибирского отделения РАН.

Обоснованные перспективы выявления месторождений золота и платины имеет территория Уджинского поднятия, золота – Верхоянский регион.

Геологическая карта северной части Сибирской платформы
Томторское месторождение показано красной звездочкой, ~250 км к СЗ
расположен Попигайский кратер

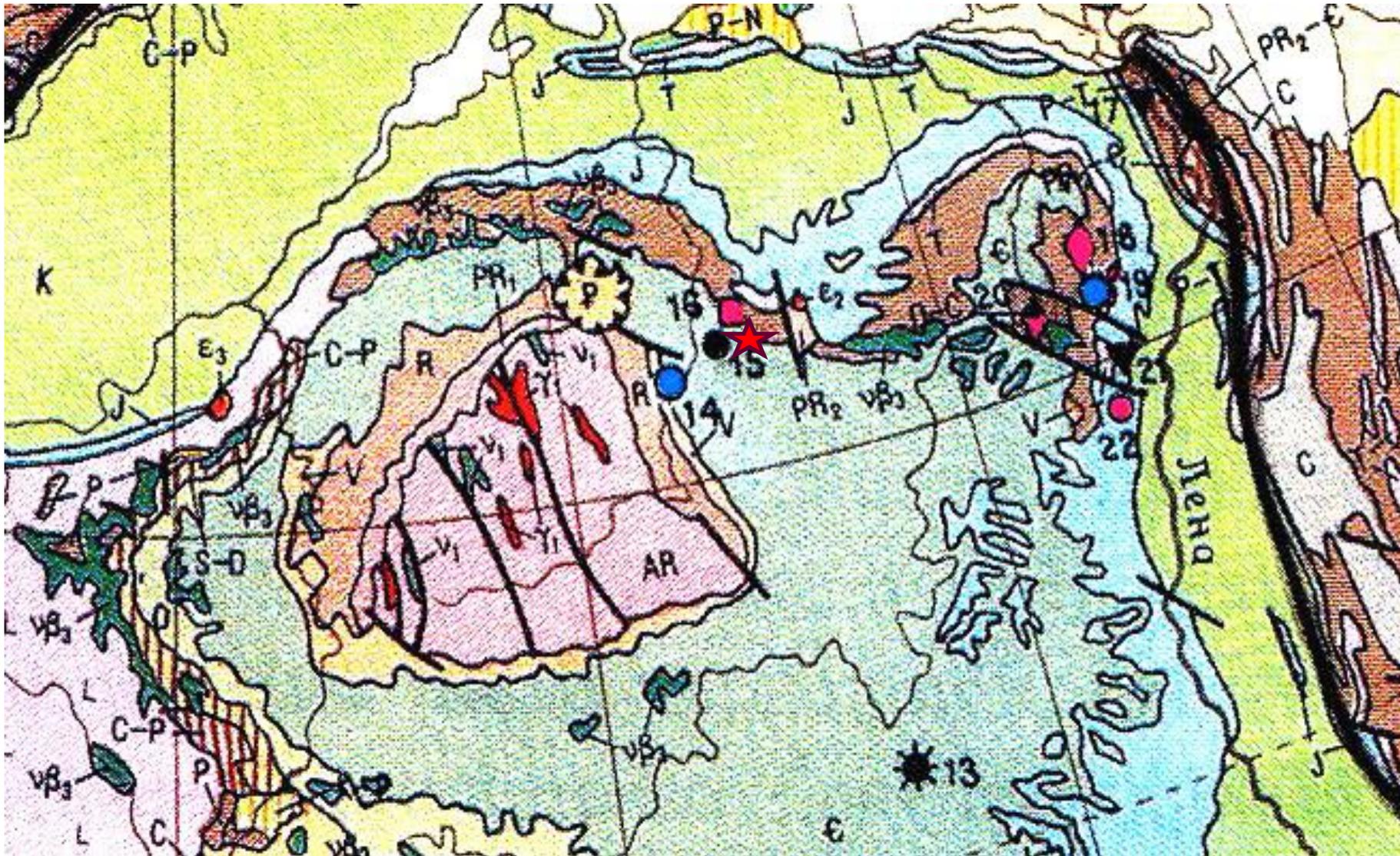
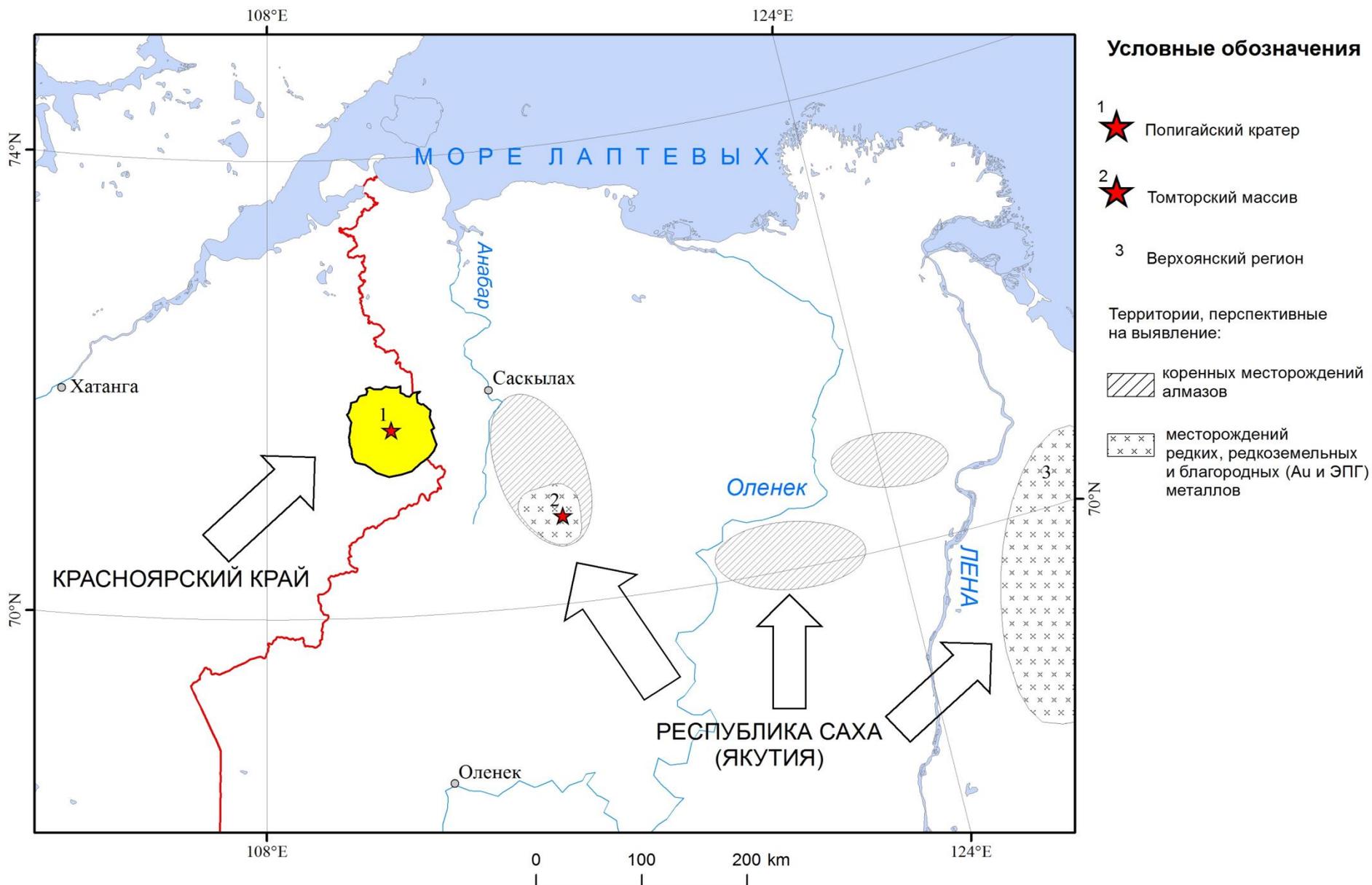


СХЕМА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРОЕКТА АРКТИКА-ЦЕНТР



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ И ОСВОЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РАЙОНА «АРКТИКА-ЦЕНТР»

1. РАЗВИТИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РАЙОНА:

- 1.1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ (РЕГИОНАЛЬНЫЕ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ, ПРОГНОЗНО-ОЦЕНОЧНЫЕ РАБОТЫ) С АКТИВНЫМ УЧАСТИЕМ В РАБОТЕ ПРОФИЛЬНЫХ ИНСТИТУТОВ РАН И СО РАН.**
- 1.2. СКОРЕЙШАЯ РАЗРАБОТКА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ (РОСНЕДРА, РАН, СО РАН) СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ**

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОБЫЧНЫХ ПРОЕКТОВ:

- 2.1. СКОРЕЙШАЯ РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ УЧАСТИЕ ГОСУДАРСТВА (НА ФЕДЕРАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЯХ) И ЧАСТНОГО КАПИТАЛА В ДОБЫЧНЫХ ПРОЕКТАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКИ С ЧЕТКОЙ ПРОПИСКОЙ МЕХАНИЗМОВ ИХ ПОДДЕРЖКИ, НАЛОГОВЫХ, ПРАВОВЫХ ПРЕФЕРЕНЦИЙ, А ТАКЖЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛОГОВ, ВКЛЮЧАЯ НДПИ**
- 2.2. СОЗДАНИЕ ПРАВОВОЙ И МАТЕРИАЛЬНОЙ ОСНОВЫ УЧАСТИЯ ДВУХ СУБЪЕКТОВ РФ В РАЗВИТИИ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ СОПРЕДЕЛЬНЫЕ ТЕРРИТОРИИ ОБОИХ СУБЪЕКТОВ.**

Зимний пейзаж на Томторе ...





Спасибо за внимание!