



# **СОСТОЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАБОТ ПРОГНОЗНО-ОЦЕНОЧНОГО ХАРАКТЕРА И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ МСБ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ВИДОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ СИБИРИ**

**ПОХИЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ**

Заместитель председателя Сибирского отделения РАН  
Научный руководитель Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
Академик РАН

Актуальные проблемы поисковой геологии  
(Москва, ВИМС, 19-21 ноября 2024)

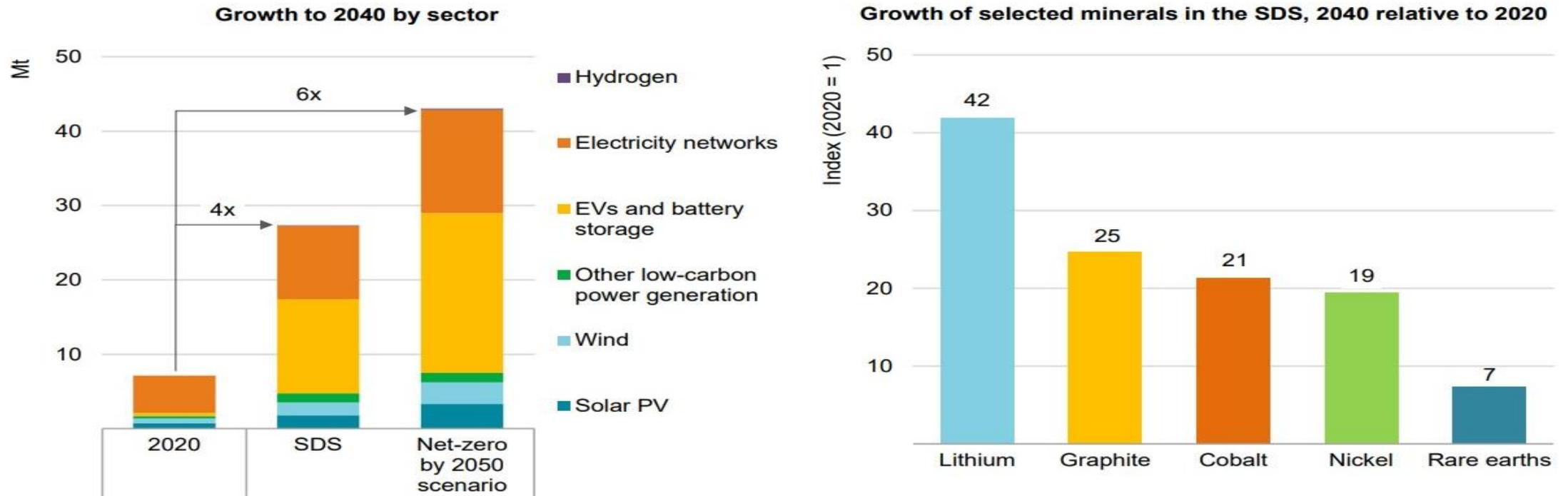
## Основные проблемы развития сырьевой базы Арктической зоны Центральной и Восточной Сибири

- Сокращение и практическое исчерпание поискового задела по большинству стратегических видов полезных ископаемых
- Резкое сокращение государственного фонда рентабельных участков недр для их предоставления в пользование
- Инфраструктурные ограничения новых открытий в неосвоенных районах страны
- Отсутствие научно обоснованных предпосылок концентрации имеющихся ресурсов на отдельных направлениях и территориях
- Отсутствие необходимых организационно-финансовых условий для эффективной поисковой деятельности юниорных компаний

# ПОТРЕБЛЕНИЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ ВЫРАСТЕТ, КАК МИНИМУМ, В 4 РАЗА К 2040 ГОДУ, И ОСОБЕННО ВЫСОКИМ БУДЕТ РОСТ СЫРЬЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

**Mineral demand for clean energy technologies would rise by at least four times by 2040 to meet climate goals, with particularly high growth for EV-related minerals**

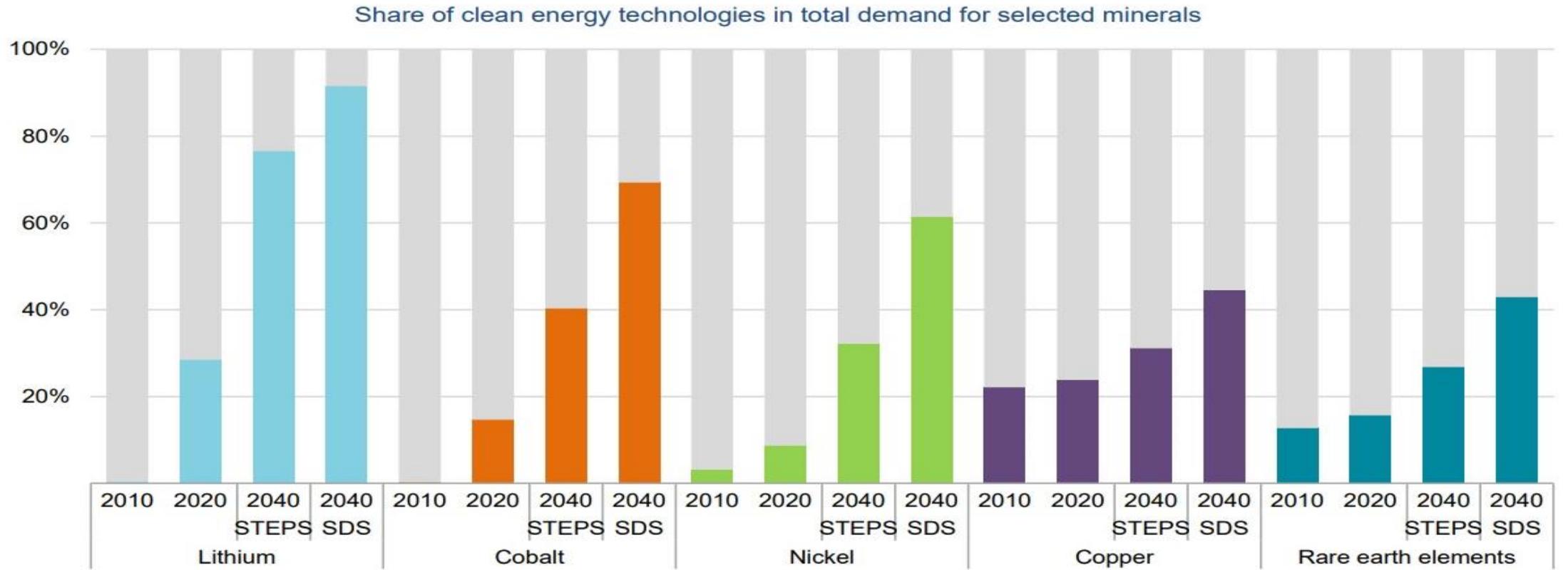
Mineral demand for clean energy technologies by scenario



IEA. All rights reserved.

Notes: Mt = million tonnes. Includes all minerals in the scope of this report, but does not include steel and aluminium. See Annex for a full list of minerals.

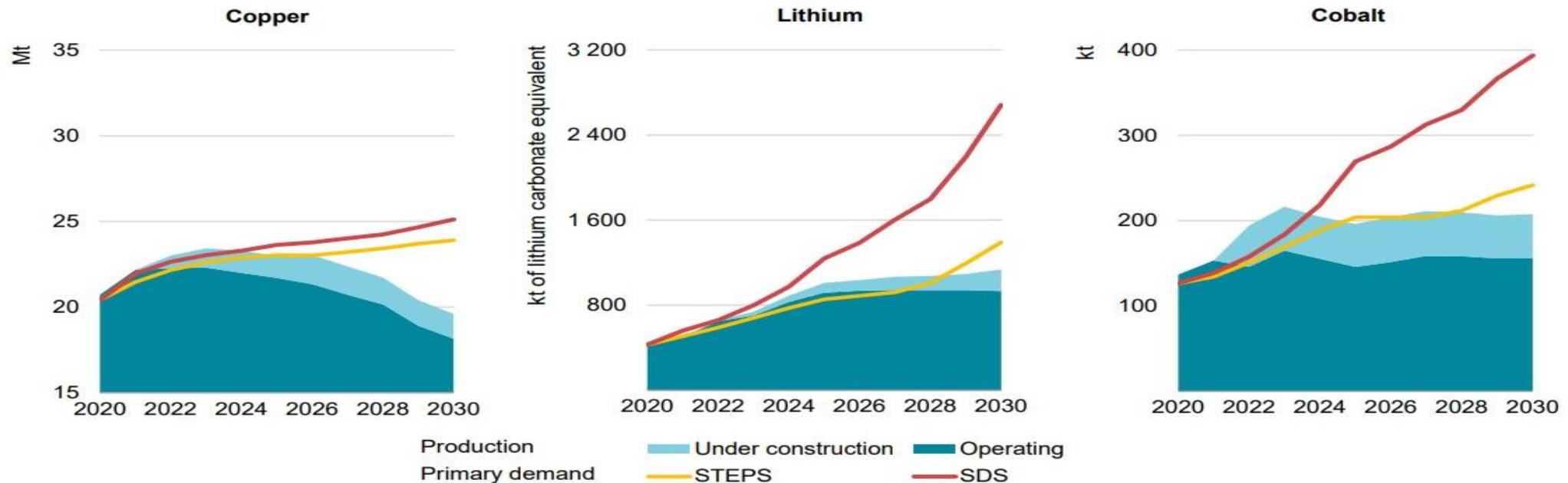
# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР СТАНОВИТСЯ ЛИДИРУЮЩИМ ПОТРЕБИТЕЛЕМ СЫРЬЯ ПРИ УСКОРЯЮЩЕМСЯ ПЕРЕХОДЕ К «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ



# СРАВНЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗВИТИЯ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

**Meeting primary demand in the SDS requires strong growth in investment to bring forward new supply sources over the next decade**

Committed mine production and primary demand for selected minerals



IEA. All rights reserved.

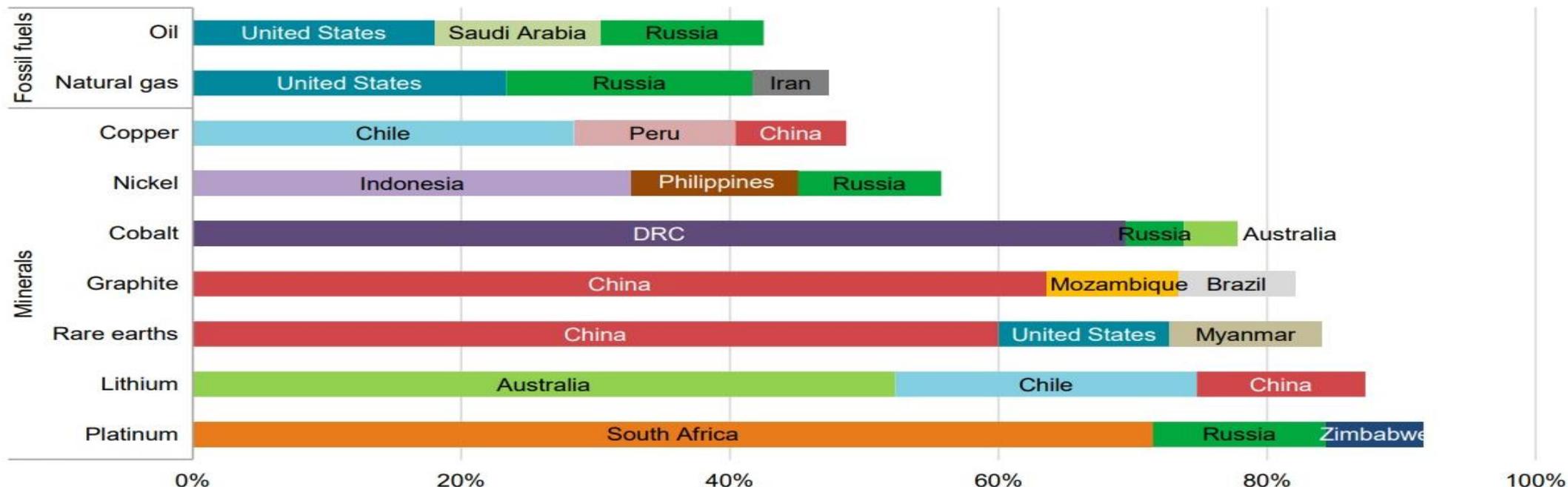
Notes: Primary demand is total demand net of recycled volume (also called primary supply requirements). Projected production profiles are sourced from the S&P Global Market Intelligence database with adjustments to unspecified volumes. Operating projects include the expansion of existing mines. Under-construction projects include those for which the development stage is indicated as commissioning, construction planned, construction started or preproduction. Mt = million tonnes.

Source: IEA analysis based on S&P Global (2021).

# ПРОИЗВОДСТВО МНОГИХ ВИДОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕХОДНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ, В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИ БОЛЕЕ СКОНЦЕНТРИРОВАНО. НЕЖЕЛИ ПРОИЗВОДСТВО НЕФТИ И ГАЗА

## Current production of many energy transition minerals is more geographically concentrated than that of oil or natural gas

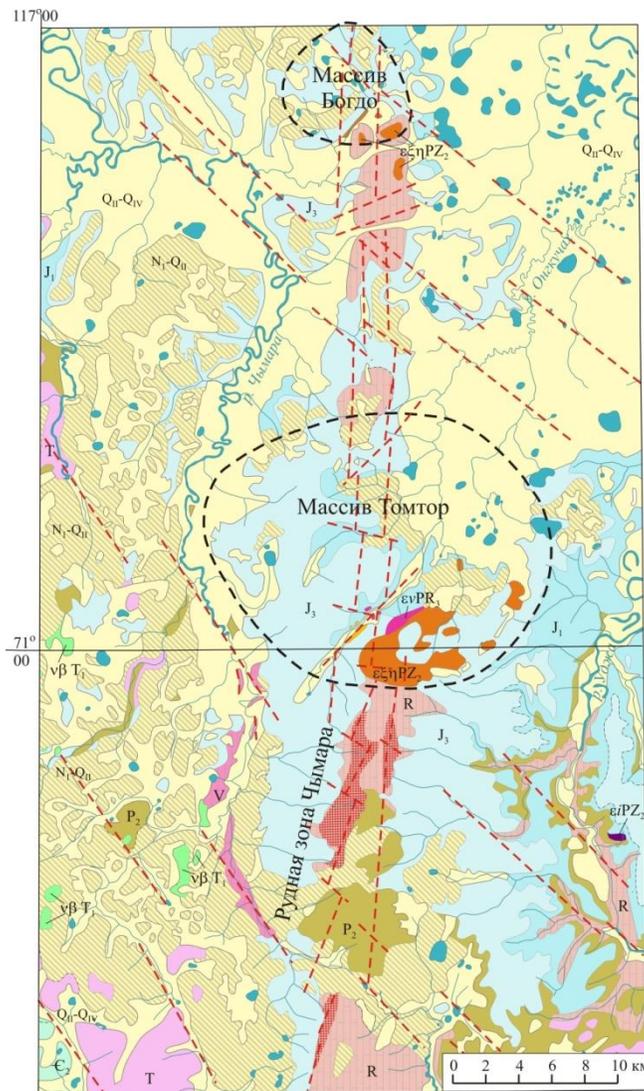
Share of top three producing countries in total production for selected minerals and fossil fuels, 2019



IEA. All rights reserved.

Sources: IEA (2020b); USGS (2021).

**PM и PЗМ включены в технологические цепочки производства вооружений и военной техники, поставляемых в ВС РФ и на экспорт.**  
**PЗМ — высокотехнологичная сырьевая продукция для обеспечения обороноспособности страны**



Су-35

Люминофоры (Eu, Y, Ce)

Оптические системы наведения оружия (Nd, Dy, Tb, Sm, La)

Инерциальные навигационные системы (Nd, Dy, Tb, Sm, La)

Оптика (Nd, La, Ce)



АПЛ «Новоросийск»

Люминофоры (Eu, Y, Ce)

Гидролокаторы (Tb, Nb)

Лазерная техника (La, Ce)

Высокоемкостные аккумуляторы (La, Ce)

Радар с фазированной решеткой (Y)

Реактивные двигатели (Y, Ce, Gd, La)

Контроль гравитации в стабилизаторах «умных» бомб (Nd, Dy)

Электроприводы управления оперением ракет (Sm)

Генераторы (Nd, Pr, Dy, Tb)

Присадки к дизельному топливу (La, Ce)

Металлическая облицовкакумулятивных зарядов (Ta)



«Армата»

## Варианты воссоздания редкоземельной промышленности в России возможны в трех направлениях:

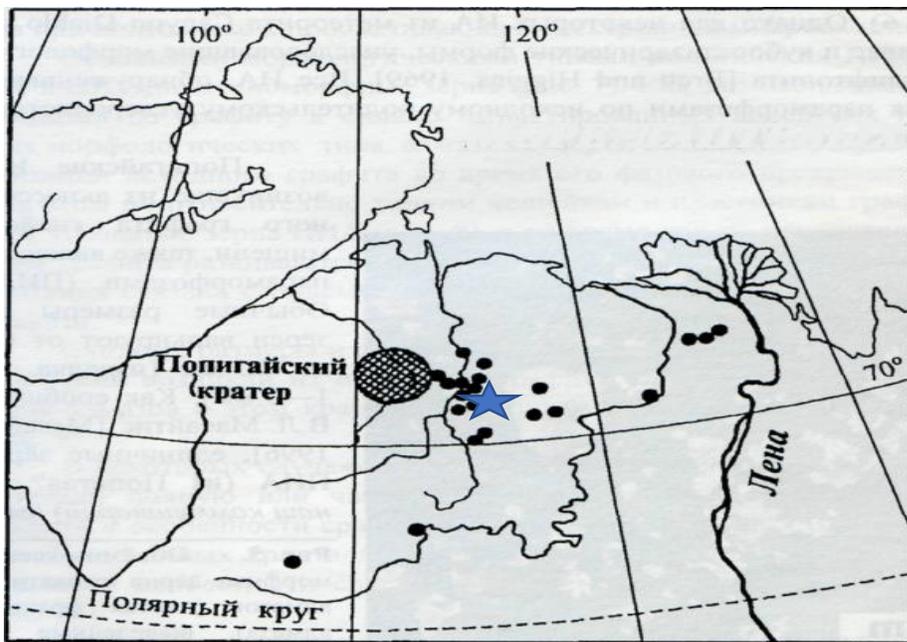
1. Реанимации мощностей по производству РЗМ из лопарита Ловозерского месторождения (Мурманская область) на базе которого Соликамский МЗ сегодня производит коллективный концентрат РЗО в минимально возможных объемах, экспортируемых полностью за рубеж;
2. За счет попутного получения РЗМ из апатита Хибинского месторождения, в котором заключено около 60% их балансовых запасов;
3. За счет освоения балансовых месторождений, готовых к эксплуатации, из которых самым богатым является Томтор (уч. Буранный, Северный и Южный).

Первые два варианта, несмотря на их очевидную ясность, требуют создания перерабатывающих предприятий, опираясь на реанимацию имевшихся и разработки новых технологий, а также организацию новых перерабатывающих мощностей. Их преимуществом является высокая степень освоенности региона и наличие необходимой инфраструктуры (транспорт, энергетика, крупные поселки с резервным жильем и кадрами).

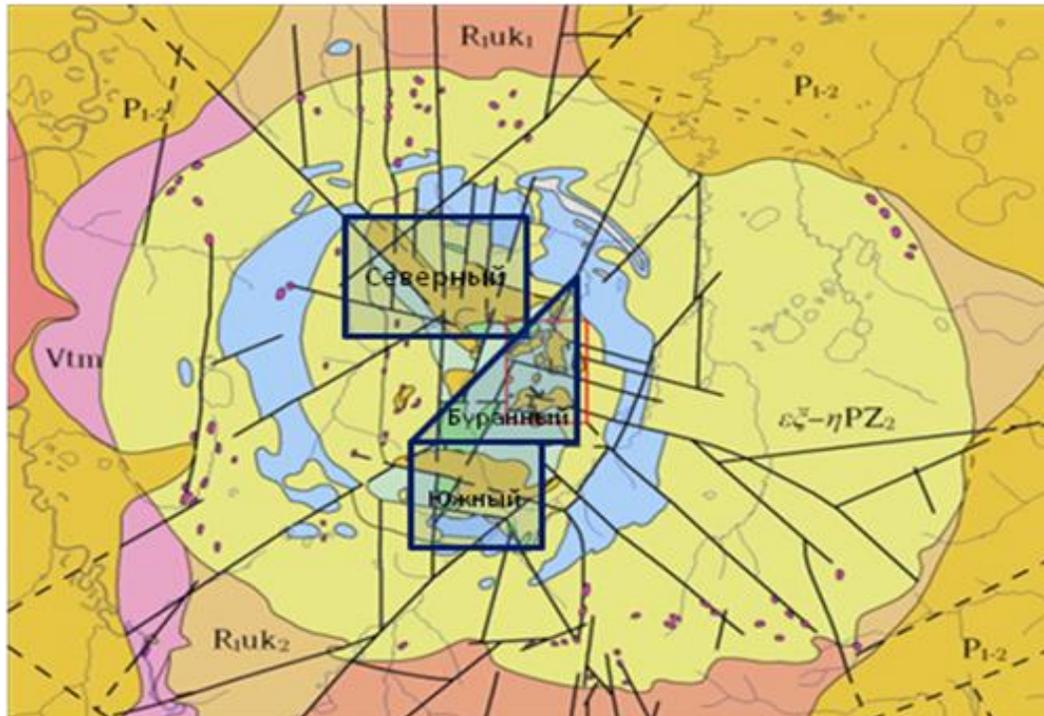
В варианте, базирующемся на источнике сибирского сырья — месторождении Томтор с уникально высокими параметрами запасов, качества руды и ресурсов остродефицитных редких и редкоземельных металлов, гарантирующими выполнение стратегических запросов нашей страны на длительный период, отрицательным моментом является практически полное отсутствие в этом регионе необходимой инфраструктуры (хороших дорог, энергии, кадров необходимой квалификации).

## Параметры Томторского Nb-редкоземельного месторождения

**Общие ресурсы Томторского месторождения колоссальны:  $Nb_2O_5$  – 73.6 млн.т.,  $TR_2O_3$  - 153.7 млн.т.,  $P_2O_5$  - около 2 млрд.т.**



По ресурсам редких и редкоземельных металлов 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 Витватерсранд или **Сухой лог** (золото), **Чукикамата** (медь), **Норильская группа** (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе Nb-РЗМ объектов, опередив месторождения ниобия (Араша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай).



На площади  $\sim 35$  км<sup>2</sup> располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пироксено-монацит-крандаллитовых руд (Северный, Буранный и Южный). На участке Буранный оценено свыше 42 млн т. руды (Толстов, 1999).

Томтор имеет приоритетное значение среди других сырьевых источников, поскольку позволяет обеспечить любые потребности российской промышленности и мировой экономики в РЗМ на обозримый период в полном спектре. В пределах рудного поля можно выделить блоки руды практически с любыми заданными параметрами, как например блок иттрий-скандиевых руд.

В пределах Томтора установлены блоки богатых марганцевых руд, а также присутствие в его породах вкраплений самородного золота и платины, что требует доизучения массива на распределение этих компонентов.

**Кроме того, на территории Уджинского поднятия, поблизости от Томтора, имеются еще четыре практически неизученных массива подобного типа, что значительно повышает перспективы развития сырьевой базы РЗМ региона.**

№	Элемент,	Сод-е, % / кг/т
1	ΣРЗО	<u>12,5 / 125</u>
	В т.ч. La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>2,6 / 26</u>
	CeO <sub>2</sub>	<u>6,3 / 63</u>
	<u>Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub></u>	<u>0,56 / 5,6</u>
	<u>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>2,17 / 21,7</u>
	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,25 / 2,5</u>
	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,08 / 0,8</u>
	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,25 / 2,5</u>
	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02 / 0,2
	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,15 / 1,5</u>
	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02 / 0,2
	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,04 / 0,4</u>
	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 / 0,1
	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,04 / 0,4</u>
	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 / 0,1
2	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,73 / 7,3</u>
3	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,057 / 0,57</u>
4	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>6,7 / 67 !!!</u>
5	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,007 / 0,07
6	TiO <sub>2</sub>	<u>5,0 / 50</u>
7	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>1,2 / 12</u>
8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>17,1 / 171</u>
9	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>16,0 / 160</u>

## Состав руды Томторского месторождения редких элементов (участок Буранный)

10	MnO	0,15
11	PbO	0,28
12	ZnO	0,18
13	CuO	0,02
14	MgO	0,12
15	CaO	2,55
16	SrO	<u>3,8 / 38</u>
17	BaO	3,2 / 32
18	Na <sub>2</sub> O	0,15
19	K <sub>2</sub> O	0,07
20	ZrO <sub>2</sub>	<u>0,29 / 2,9</u>
21	ThO <sub>2</sub>	<u>0,15 / 1,5</u>
22	UO <sub>3</sub>	0,01 / 0,1

Уникальность разработанной в ИХХТ СО РАН технологии переработки томторских руд в том, что **в полезную переработку вовлекается 75% компонентов руды**, в результате чего нет необходимости предварительного обогащения руды.

Работы по совершенствованию переработки томторских руд (Кузьмин В.И., 2006-2014 г.г.) позволили увеличить количество товарных продуктов до 20, среди которых главную ценность представляют индивидуальные оксиды средних и тяжелых РЗМ, что позволяет говорить **о новых возможностях получения практически полной линейки РМ и РЗМ из одного сырьевого источника.**



**Таблица 2. Распределение марганца в гипергенном комплексе участка Северный**

<b>№ скважины</b>	<b>Мощность, м</b>	<b>Содержание MnO в %</b>
<b>101</b>	<b>28.4</b>	<b>11.71</b>
<b>105</b>	<b>110</b>	<b>13.75</b>
<b>108</b>	<b>40</b>	<b>10.58</b>
<b>111</b>	<b>13</b>	<b>12.25</b>
<b>3665</b>	<b>30</b>	<b>22.57</b>
<b>4465</b>	<b>70</b>	<b>12.72</b>
<b>Среднее по скважинам</b>	<b>48.6</b>	<b>12.83</b>

**Таблица 3. Прогнозные ресурсы марганца в латеритных корах выветривания участка Северный**

<b>Площадь рудоносного участка, тыс. м<sup>2</sup></b>	<b>Средняя мощность руд, м</b>	<b>Объём руды млн. м<sup>3</sup></b>	<b>Удельный вес руды, т/м<sup>3</sup></b>	<b>Объём руды, млн. т</b>	<b>Среднее содержание MnO в руде, %</b>	<b>Ресурсы руды, млн т</b>
<b>1550.6</b>	<b>23</b>	<b>35.7</b>	<b>3.8</b>	<b>135.5</b>	<b>12.83</b>	<b>17.4</b>

В пределах Северного участка массива Томтор выявлен участок с повышенным содержанием MnO в латеритных корах выветривания с ресурсами руд более 17 млн.т. Работы на других участках могут увеличить ресурсы до 100 млн.т. Следует особо отметить, что Fe-Mn руды являются природнолегированными с высокими содержаниями Nb и TR, что следует учитывать при изучении рудного поля.

По наличию магнитных аномалий, характерных для апатит-магнетитовых руд – фоскоритов, аналогичные руды, могут быть выявлены и в других частях массива Томтор – участки Буранный, Южный (Баранов, Толстов, 2022).

Полученные результаты позволяют прогнозировать наличие промышленных концентраций Mn в центральном и южном секторах карбонатитового ядра массива, что создает реальные перспективы выявления месторождений комплексных Nb-TR Fe-Mn руд в латеритных корах выветривания карбонатитов с уникальными ресурсами.

### **Предложения по воспроизводству МСБ марганца**

1. Проведение комплексных оценочных работ на марганец и технологических исследований по изучению обогащения марганцевых руд при разведочных работах в центральной части Томторского рудного поля, а также на участках Северный и Южный Томторского редкометального месторождения, где установлены мощные тела марганцевых руд с промышленными содержаниями технологически извлекаемого марганца и попутной переоценкой запасов редкоземельных металлов.

**Ожидаемые результаты работ – прирост запасов марганцевых руд в редкометальных объектах 100 млн. т, с средним содержанием 12-13% на среднюю мощность 25 и более метров.**

**Ориентировочная стоимость работ - 1,5 млрд. рублей (вместе с разведкой редкоземельных металлов).**

---

# Привлекательность и проблемы освоения Томтора:

При воссоздании отечественной редкоземельной промышленности, базирующейся только на одном типе - уникально богатых пирохлор-монацит-крандаллитовых рудах Томтора, будет гарантировано:

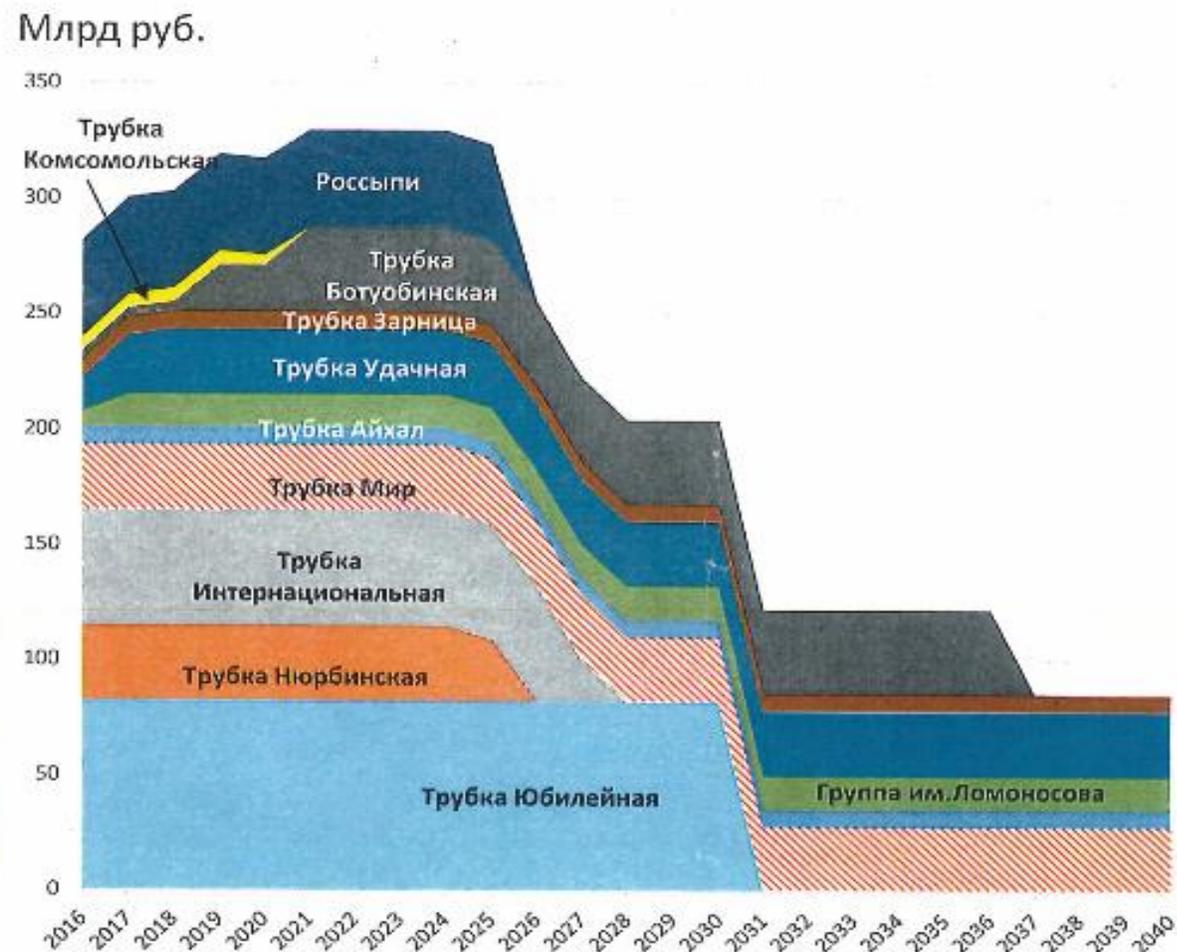
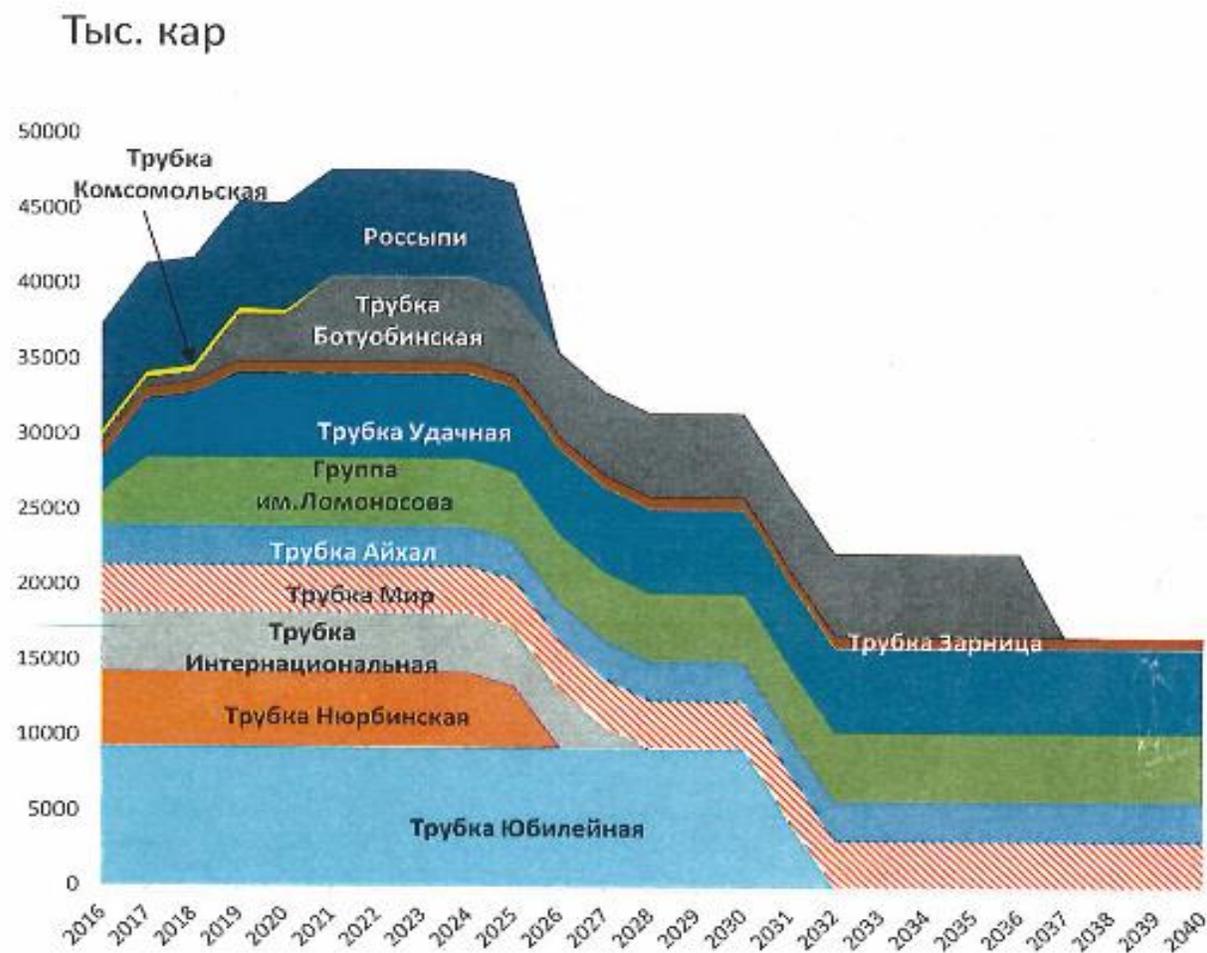
1) стабильное обеспечение на многие десятки лет в необходимом количестве отечественных высокотехнологичных предприятий стратегическим сырьем – редкими и редкоземельными металлами, включая особо дефицитные и наиболее дорогостоящие тяжелые лантаноиды (неодим, самарий, европий, диспрозий и др.), независимо от импортных поставок и волатильности мировой конъюнктуры;

2) создание непрерывной технологической цепочки полного цикла: Добыча Nb–PM-PЗМ руд – переработка – выпуск концентратов – разделение PM и PЗМ – получение чистых металлов и высокотехнологичной продукции, содержащей PM и PЗМ, опираясь только на отечественную сырьевую базу;

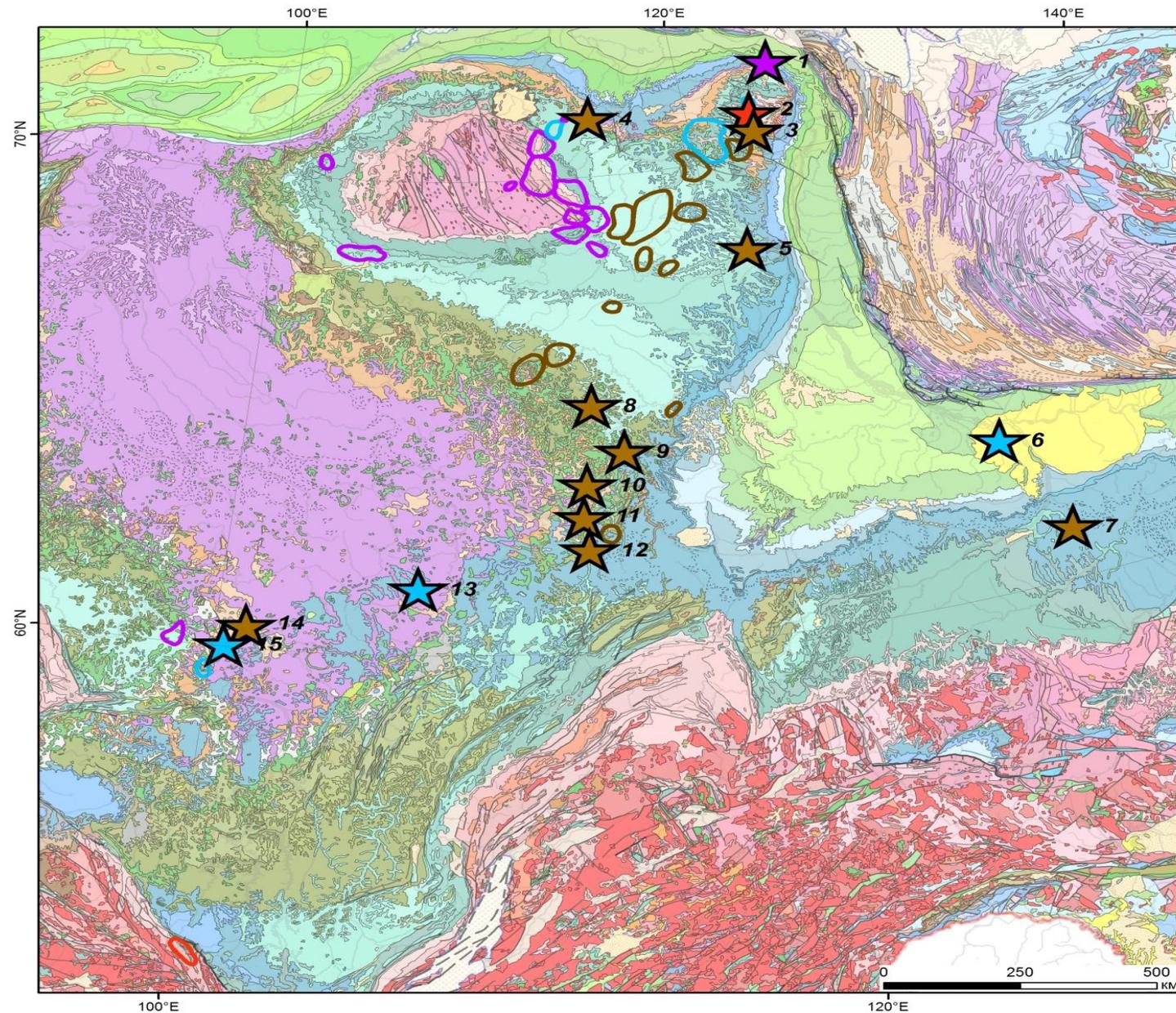
3) интеграция России в мировой рынок PM и PЗМ с конкурентоспособной продукцией.

Реализация Томторского проекта возможна также и в рамках Союзного государства, поскольку целый ряд отраслей высокотехнологичной промышленности РБ нуждается в широком списке редких и редкоземельных металлов, **однако требует значительных объемов инвестиций и времени для создания в регионе необходимой инфраструктуры.**

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



По данным Группы АЛРОСА и ГФЗ



### ИЗВЕСТНЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ПОЛЯ:

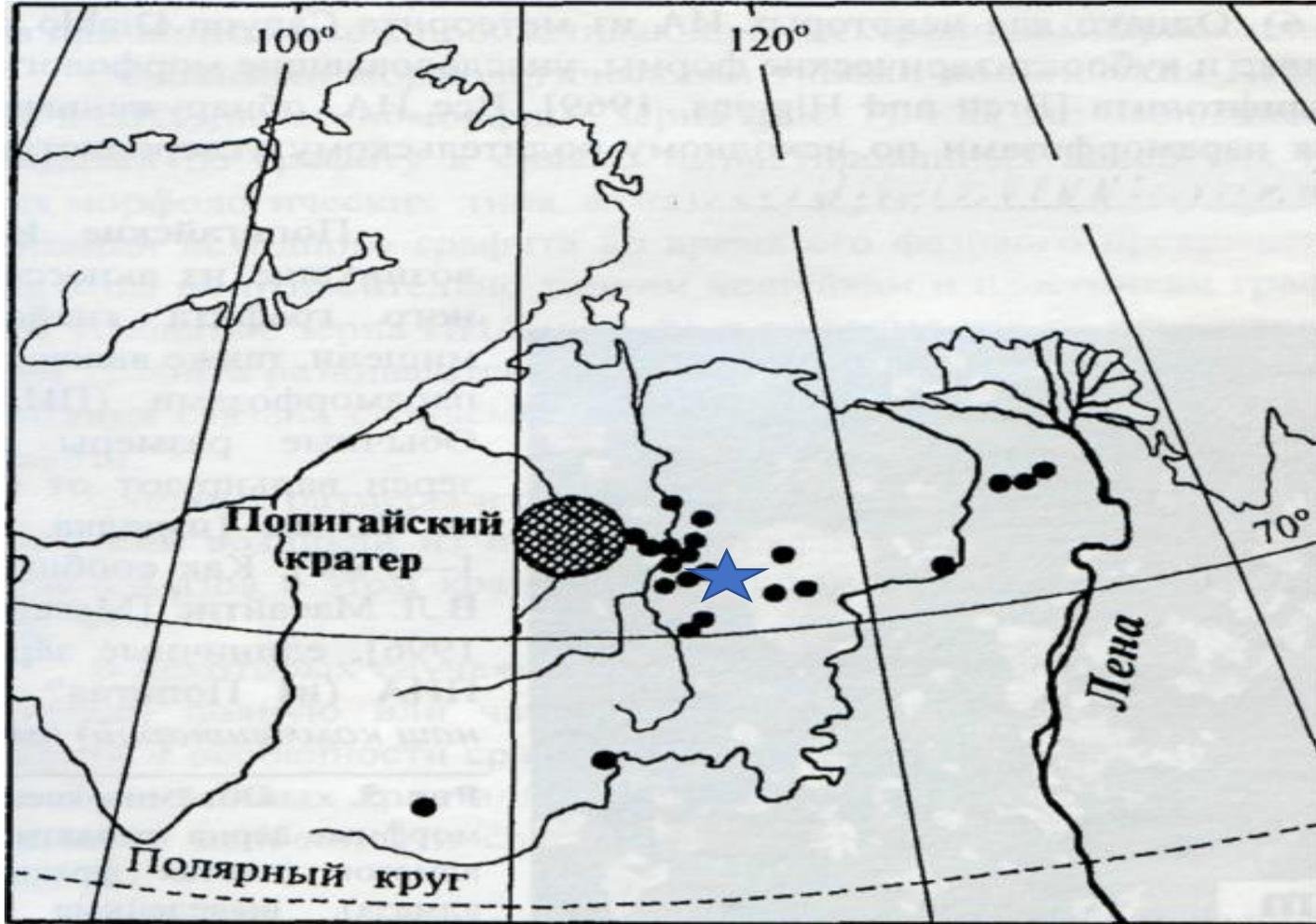
- ЮРСКИЕ
- ТРИАСОВЫЕ
- СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ
- ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ

### ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ПОЛЯ:

- ★ ВЕРХНЕМЕЗОЗОЙСКИЕ (J3-K1)
- ★ НИЖНЕТРИАССОВЫЕ (T1)
- ★ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ (D3)
- ★ ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ (PR2)

- 1 – КЕЛИМЯРСКОЕ,
- 2 – ЮЭТТЭХСКОЕ,
- 3 – КЮТЮНГДИНСКОЕ,
- 4 – МАЯТСКОЕ,
- 5 – НИЖНЕМУНСКОЕ,
- 6 – КЕНКЕМЕ,
- 7 – МЕНДСКОЕ (БАРЫЛАЙСКОЕ),
- 8 – МАРХА-МОРКОКИНСКОЕ,
- 9 – ЫГЫАТТИНСКОЕ,
- 10 – СЮЛЬДЮКАРСКОЕ,
- 11 – КУРУНГ-ЮРЯХСКОЕ,
- 12 – ЕЛЕНГСКОЕ,
- 13 – СИВИКАГНИНСКОЕ,
- 14 – ТАРЫДАКСКОЕ,
- 15 – ЕНБОЛАКСКОЕ

## Географическое положение Попигайской астроблемы и Томторского ниобий-редкометального месторождения



~ 36 млн. лет назад метеорит размером более 6 км со скоростью около 30 км/сек врезался в Землю в арктической части Сибирской платформы, образовав кратер диаметром около 100 км.

При взрыве, длившемся около 1 секунды, давления достигали 140 GPa (1,4 млн. атм.), а температура - 3500-4000°C. В этих условиях часть графита, содержавшегося в кристаллических породах мишени, трансформировалась в природный наноструктурированный агрегат кубического алмаза и более плотной и твердой гексагональной фазы углерода – лонсдейлита.

Разведанные в 80-х годах прошлого столетия и поставленные на баланс запасы изученного участка, площадь которого составляет лишь 0.3 % от общей площади кратера – 342 млрд. карат, что более чем в 60 раз выше мировых запасов обычных алмазов, а прогнозные ресурсы всего месторождения измеряются триллионами карат.

Звездочкой обозначено положение Томторского ниобий-редкометального месторождения.

# 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 уплотненной 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.

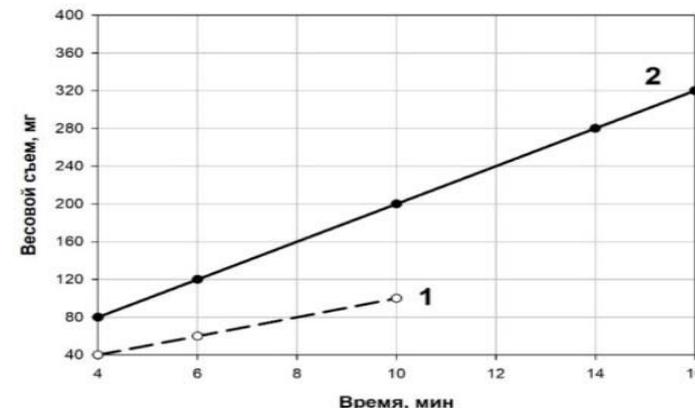
Основной объем технологических исследований проводится совместно с НАН Беларуси, где хорошо понимают ценность импактных алмазов и с энтузиазмом работают с ними.

Результаты технологических испытаний показали, что *абразивный состав на основе импактных алмазов при магнитно-абразивной обработке пластин кремния обладает в 1,7–2 раза более высокой абразивной способностью и в 2-4 раза более высокой стойкостью (временем эксплуатации) по сравнению с составом на основе синтетического алмаза АСМ.*

*Термостойкость импактных алмазов на 250 оС выше таковой для синтетических алмазов, а их удельная поверхность выше в 9 раз.*

## Результаты сравнительных испытаний алмазных композитов

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



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

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

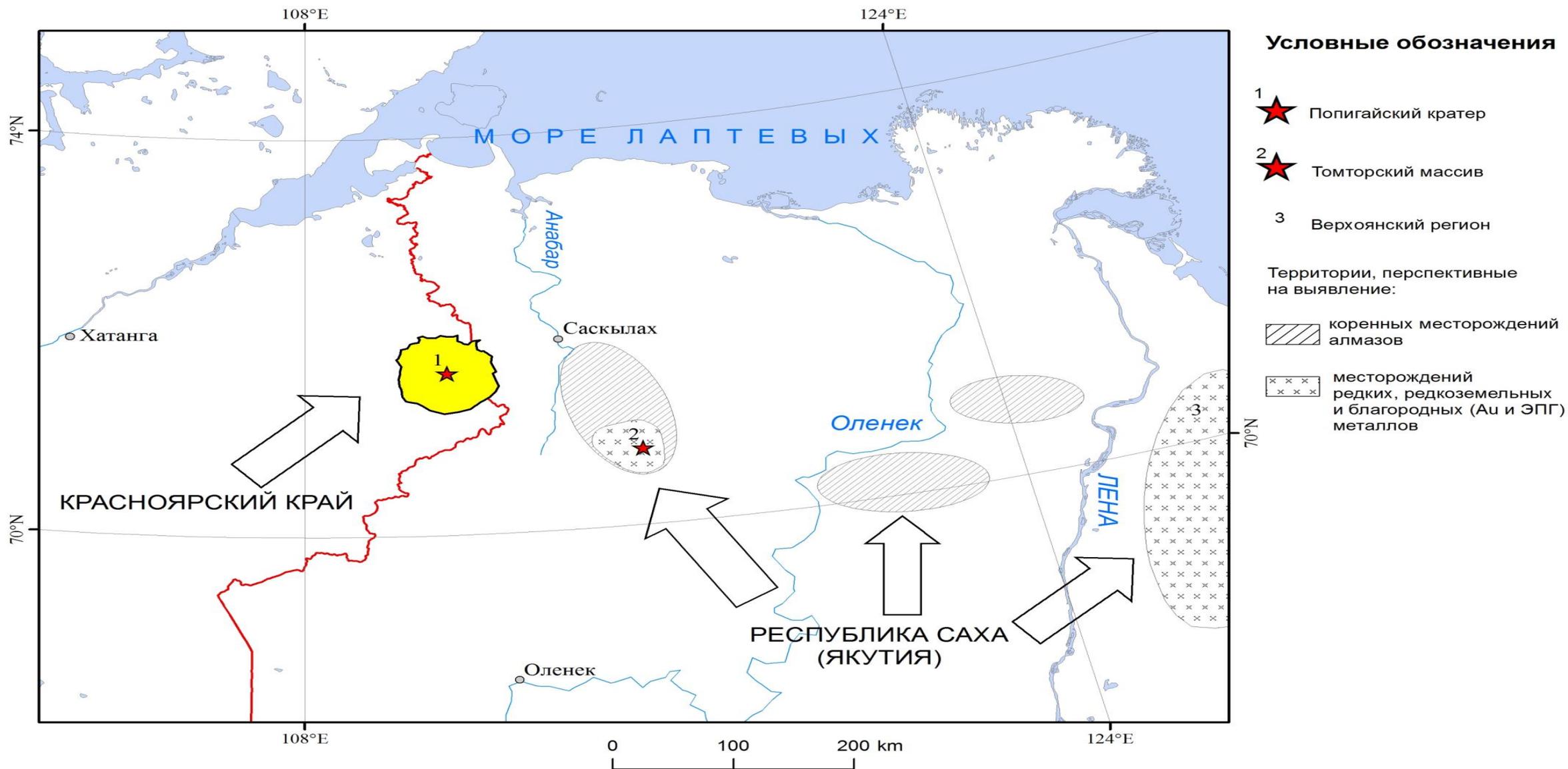
**Основные перспективы коренной алмазности арктических территорий Сибирской платформы связываются с кимберлитами среднепалеозойского возраста.**

С учетом существенного осложнения ситуации с сырьевой базой отечественной алмазодобывающей промышленности начиная уже с 2027 года по причине последовательного истощения 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 Кютюнгдинского 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.**

# СХЕМА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЛЕНО-ХАТАНГСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ



## ВЫВОДЫ:

1. Оптимальным вариантом решения имеющихся проблем явилось бы **воссоздание государственной системы планирования** стратегических геологических исследований, нацеленных на наращивание банка «поисковых заделов» по наиболее важным для развития промышленности и экономики страны видам полезных ископаемых, с активным участием в этих работах профильных академических институтов Минобрнауки РФ.

2. К задачам, решаемым профильными академическими институтами, относились бы:

- 1) участие в выборе и ранжировании территорий для последующего проведения на них прогнозно-оценочных работ;
- 2) 2) научное, экспертное и аналитическое сопровождение прогнозно-оценочных работ, нацеленных на наращивание государственного банка надежных и привлекательных для недропользователей «поисковых заделов»;
- 3) 3) разработка эффективных технологий добычи и переработки руд стратегических видов сырья; 4) разработка рациональных экономических цепочек: выбор месторождения – технологии освоения и переработки – получение конечных продуктов с высокой добавленной стоимостью.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**