

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИИ  
на тему **«никель»**

**Кларк никеля в земной коре 0,0058 %.** Содержание его в ультраосновных породах ( $1,2 \cdot 10^{-1}$  %) примерно в 200 раз выше, чем в кислых ( $8 \cdot 10^{-4}$  %). Известно пять стабильных изотопов никеля:  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{62}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$ , среди которых преобладает  $^{58}\text{Ni}$ . Промышленные концентрации никеля обычно ассоциируют с базит-гипербазитовыми магмами, связанными с подкоровыми очагами. Ему присущи сидерофильные и халькофильные свойства. В ультраосновных породах никель связан, как правило, с оливинами, содержащими 0,13–0,41 % Ni, в которых он изоморфно замещает Fe и Mg. При наличии в магме серы никель наряду с медью и железом, обособляется в виде сульфидов. В процессе раскристаллизации отликвировавшего сульфидного расплава возникают магматические месторождения сульфидных медно-никелевых руд. В гидротермальном процессе совместно с кобальтом, мышьяком, серой, иногда и висмутом, ураном и серебром никель образует повышенные концентрации в виде арсенидов и сульфидов.

В экзогенных условиях никель накапливается в коре выветривания в результате выщелачивания его из серпентинитов и оливина. Переходя в раствор и при наличии избыточной  $\text{CO}_2$  мигрирует в виде бикарбоната  $\text{Ni}(\text{HCO}_3)_2$ . Осаждение его происходит обычно в нижних горизонтах кор выветривания, где создаются условия для образования водных силикатов никеля, а также содержащих никель ферри- и алюмосиликатов.

**МЕТАЛЛОГЕНИЯ И ЭПОХИ РУДООБРАЗОВАНИЯ.** Месторождения никеля не характерны для геосинклинального этапа. В это время возникали лишь редкие и небольшие по размерам гидротермальные месторождения сульфидоарсенидов никеля, связанные с гранитоидами средней и поздней стадий развития геосинклиналей.

**Преобладающая масса сульфидных медно-никелевых месторождений сформировалась на стадии активизации древних платформ в связи с трапповым магматизмом.** Основной путь образования таких месторождений – это ликвация, обусловленная снижением растворимости сернистых соединений Fe, Ni и Cu в зависимости от содержания в кристаллизующейся магме Fe, S, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Образовавшиеся в результате ликвации магмы сульфидный и силикатный расплавы в дальнейшем кристаллизовались независимо друг от друга, причем выделение силикатов опережало выделение сульфидов на 200–300° С. В зависимости от геологической и тектонической обстановки сульфиды могли оставаться на месте, образуя скопления сингенетических руд, или проникать в трещины в теле интрузива и зоны дробления по контакту с вмещающими породами, формируя «отщепленные» тела эпигенетических медно-никелевых руд.

**На щитах рудоносные массивы** основных и ультраосновных пород внедрялись в зоны пересечения разрывных нарушений и в период становления подвергались стратификации. Месторождения, возникшие на краях активизированных платформ, приурочены к наиболее поздним дериватам расслоенных интрузивов основного состава. Оруденение локализуется в нижних горизонтах дифференцированных интрузий или в подстилающих породах.

**Экзогенные месторождения силикатных никелевых руд, приуроченные к корам выветривания, образовывались на платформенном этапе.** В зависимости от геологического строения рудоносных площадей, наличия или отсутствия карбонатных пород и особенностей строения рельефа формировались рудные залежи различной формы – плащеобразные, жиллообразные и более сложные, приуроченные к карстовым полостям.

Месторождения никеля возникали в различные геологические эпохи. Главной в формировании сульфидных медно-никелевых руд являлась докембрийская эпоха рудообразования. В это время сформировалась преобладающая часть запасов Канады (район Садбери и оз. Линн, месторождения Мистери-Лейк, Моак-Лейк, Томпсон), Норвегии, Финляндии, Австралии и отдельные месторождения в России (Мончегорское). В Австралии в штате Западная Австралия выявлено более 30 месторождений сульфидных руд, приуроченных к докембрийским массивам ультрабазитов. По масштабам оруденения и добычи никеля выделяется месторождение Камбалда, доказанные запасы никеля которого составляют 1,1 млн т при среднем содержании Ni 1,5–2,0 %.

**В раннепалеозойскую эпоху рудообразования** промышленные месторождения никеля формировались в основном на северо-западе Европы. Наиболее крупным среди них является месторождение Рингерих в Норвегии.

**Для позднепалеозойской эпохи рудообразования** промышленные месторождения никеля не характерны. Встречаются гидротермальные кобальт-никелевые месторождения (Ховуаксы в Туве) и связанные с корой выветривания ультраосновных массивов (Урал).

**В мезозойскую эпоху рудообразования** образовались крупные месторождения сульфидных медно-никелевых руд в Норильском районе (Россия) и в ЮАР. В ЮАР месторождения сосредоточены в Восточном Грикваленде и связаны с основными интрузивными породами, залегающими среди осадочных свит системы Карру. По масштабам оруденения выделяется месторождение Инсизва, вкрапленные и массивные руды которого приурочены к донной части крупного силла долеритов. Силикатные никелевые руды распространены на Южном Урале, в Северо-Западном Казахстане, Бразилии и других регионах.

*В кайнозойскую эпоху рудообразования* формировались главным образом **силикатные никелевые руды, приуроченные к коре выветривания массивов ультраосновных пород.** Большинство месторождений этого возраста сосредоточено в Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америке и Океании. Разрабатываются только те месторождения, в рудах которых содержание Ni превышает 1 %. Наиболее крупные месторождения известны на о. Новая Каледония и Кубе (провинция Ориенте), а также в Индонезии (месторождения Сороака, Памалеа и др.).







Известно 45 минералов никеля. Главными минералами руд сульфидных месторождений являются пентландит, миллерит и никелин.

Пентландит  $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$  (Ni 22–42 %)

Полидимит  $\text{Ni}_3\text{S}_4$

Миллерит  $\text{NiS}$  (Ni до 65 %)

Никелин  $\text{NiAs}$  (Ni до 44 %)

Хлоантит  $\text{NiAs}_3$

В силикатных рудах:

**Гарниерит**  $(\text{Ni}_1\text{Mg})_6[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$  (содержание NiO 46 %)

**Непуит**  $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (NiO 20–46 %)

## **ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО НИКЕЛЯ В РОССИИ И МИРЕ ЗА 1993-2003гг.**

Страна, континент	Объемы производства (числитель) и потребления (знаменатель) по годам, тыс. т					2003/1993, %
	1993	2000	2001	2002	2003	
Россия	$\frac{184,0}{40,2}$	$\frac{243,0^*}{46,8}$	$\frac{252,0^*}{74,9}$	$\frac{243,0^*}{29,0^*}$	$\frac{260,0^*}{30,0^*}$	$\frac{141,3}{74,6}$
Европа	$\frac{131,5}{278,4}$	$\frac{182,1}{398,0}$	$\frac{193,3}{419,0}$	$\frac{200,9}{435,3}$	$\frac{189,6}{431,3}$	$\frac{144,2}{154,9}$
Азия	$\frac{141,1}{269,3}$	$\frac{221,7}{453,7}$	$\frac{213,5}{436,9}$	$\frac{220,3}{483,8}$	$\frac{238,1}{554,1}$	$\frac{168,7}{205,8}$
Африка	$\frac{47,2}{11,0}$	$\frac{50,2}{31,0}$	$\frac{52,9}{30,0}$	$\frac{55,0}{34,7}$	$\frac{53,5}{44,0}$	$\frac{113,3}{400,0}$
Америка	$\frac{203,5}{153,3}$	$\frac{253,8}{185,9}$	$\frac{265,5}{166,9}$	$\frac{291,1}{156,7}$	$\frac{281,9}{155,3}$	$\frac{138,5}{101,3}$
Австралия и Океания	$\frac{91,7}{1,7}$	$\frac{154,4}{2,0}$	$\frac{174,0}{2,0}$	$\frac{180,7}{2,0}$	$\frac{178,6}{2,0}$	$\frac{194,8}{117,6}$
Прочие страны	$\frac{-}{6,7}$	$\frac{-}{27,1}$	$\frac{-}{20,9}$	$\frac{-}{35,7}$	$\frac{-}{17,2}$	$\frac{-}{256,7}$
Весь мир	$\frac{799,0}{760,6}$	$\frac{1105,2}{1145,4}$	$\frac{1151,2}{1150,6}$	$\frac{1191,0}{1177,2}$	$\frac{1201,7}{1239,9}$	$\frac{150,4}{162,2}$
В том числе Китай	$\frac{-}{39,0}$	$\frac{-}{57,6}$	$\frac{-}{85,4}$	$\frac{-}{84,2}$	$\frac{-}{132,8}$	$\frac{-}{340,5}$

***РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ НИКЕЛЯ  
ПО СУБЪЕКТАМ РФ, %***

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ НИКЕЛЯ ПО СУБЪЕКТАМ РФ, %

- В мире открыто более 400 месторождений никелевых руд, в том числе 235 сульфидных и 155 силикатных. По разведанным запасам месторождения никеля подразделяются на **уникальные** (более 1 млн т), **весьма крупные** (от 500 тыс. т до 1 млн т), **крупные** (от 250 до 500 тыс. т), **средние** (от 100 до 250 тыс. т) и **мелкие** (менее 100 тыс. т). К уникальным месторождениям, оказавшим существенное влияние на развитие никелевой промышленности, относятся сульфидные месторождения Норильск-1, Талнахское и Октябрьское в России, группы месторождений Садбери и Томпсон в Канаде, Агню, Камбалда и Маунт-Кейт в Австралии, Цзиньчуань в Китае, а также силикатные месторождения на о. Эвбея в Греции, Непуи в Новой Каледонии, Помала и Гебе в Индонезии. Начальные запасы каждого из них превышали 1 млн т никеля.

***ДИНАМИКА ДОБЫЧИ МЕДИ И СВИНЦА И НИКЕЛЯ  
В 1991-1999 ГГ. (ИСТОЧНИК МПР РФ)***

# ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- 1) магматические,
- 2) плутоногенные гидротермальные,
- 3) коры выветривания.

*Магматические месторождения* сульфидных медно-никелевых руд известны в России – в Красноярском крае (Норильск-1, Октябрьское, Талнахское), на Кольском полуострове (Печенга, Аллареченское), в Швеции (Клева), Финляндии (Пори), Канаде (Садбери, Томпсон и др.), США (Стиллуотер), ЮАР (Бушвельд, Инсизва) и Австралии. Все они связаны с дифференцированными базит-гипербазитовыми массивами.



**Рудные тела** размещаются внутри, по периферии в придонной части и вблизи материнских интрузивов. Наиболее характерны:

1) **пластообразные висячие залежи**

вкрапленных руд;

2) **пластообразные и линзовидные донные залежи** массивных «шлировых» и прожилково-вкрапленных руд;

3) **линзы и неправильные тела** приконтактных брикчеевых руд;

4) **жилообразные и жильные тела** массивных руд.

**Размеры рудных тел** варьируют от первых сотен метров до 1,0–1,5 км по простиранию и от нескольких сотен до 800–1000 м по падению при **мощности** от 1–3 до 50 м и более.

Минеральный состав руд достаточно хорошо выдержан.

**Главные рудные минералы:** пирротин, халькопирит, пентландит, второстепенные – магнетит, пирит, кубанит, борнит, полидимит, никелин, миллерит, спериллит, виоларит и куперит.

# ***ОСНОВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ РОССИИ***



**ТАЛНАХ (Таймыр)**



**ОКТЯБРЬСКОЕ (Таймыр)**



**НОРИЛЬСК-1 (Таймыр)**



**СЕРОВСКОЕ (Челябинская область)**



**БУРЫКТАЛЬСКОЕ (Оренбургская область)**

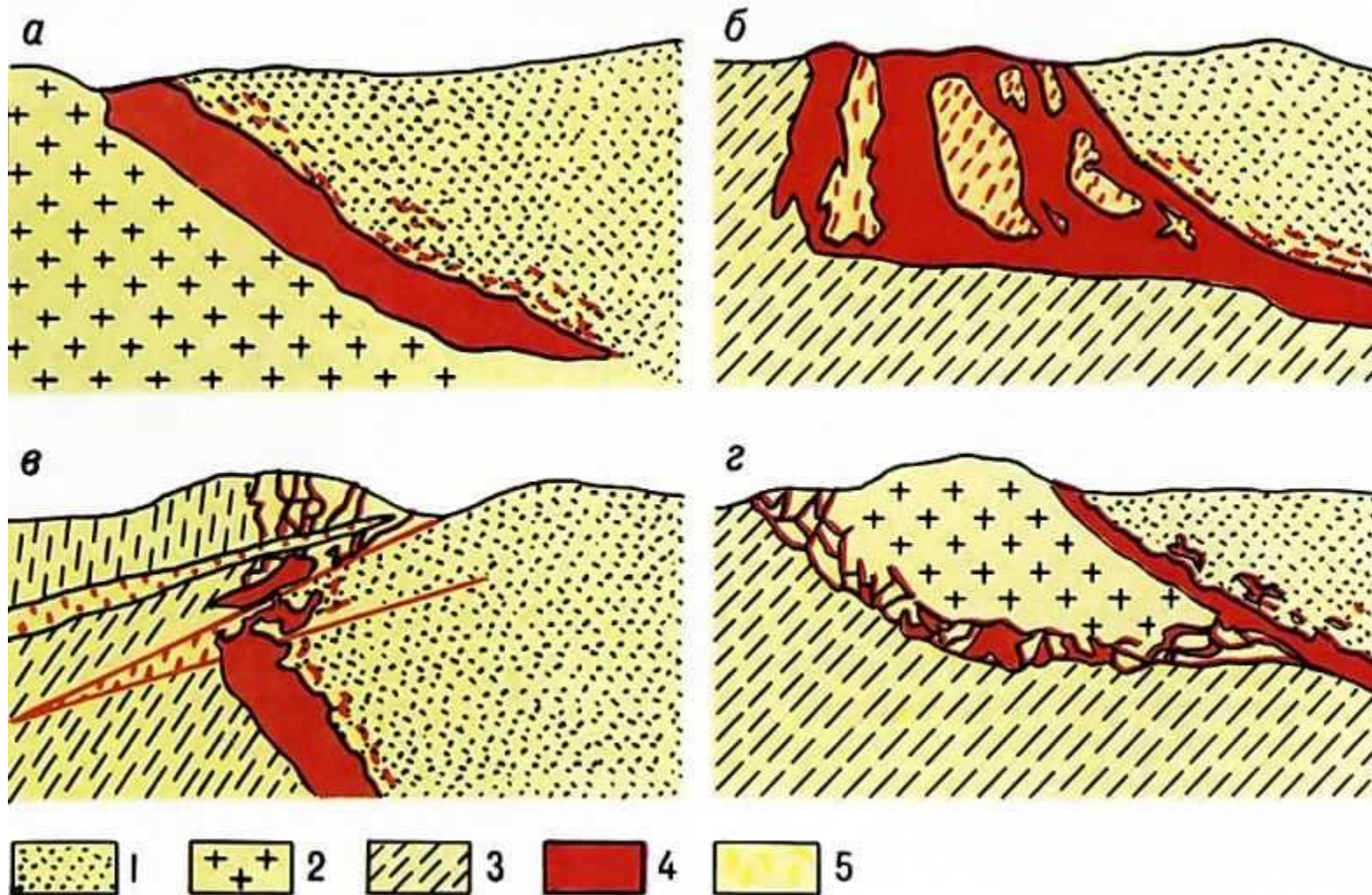


## СООТНОШЕНИЕ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ НИКЕЛЯ В СПЛОШНЫХ (БОГАТЫХ), ВКРАПЛЕННЫХ И МЕДИСТЫХ РУДАХ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

Тип руд	Запасы никеля категорий А+В+С <sub>1</sub> в рудах*	Добыча никеля из руд в 2003 г.** , %
<b>Сплошные (богатые)</b>	<b>42,7</b>	<b>81,4</b>
<b>Медистые и вкрапленные</b>	<b>53,3</b>	<b>18,6</b>

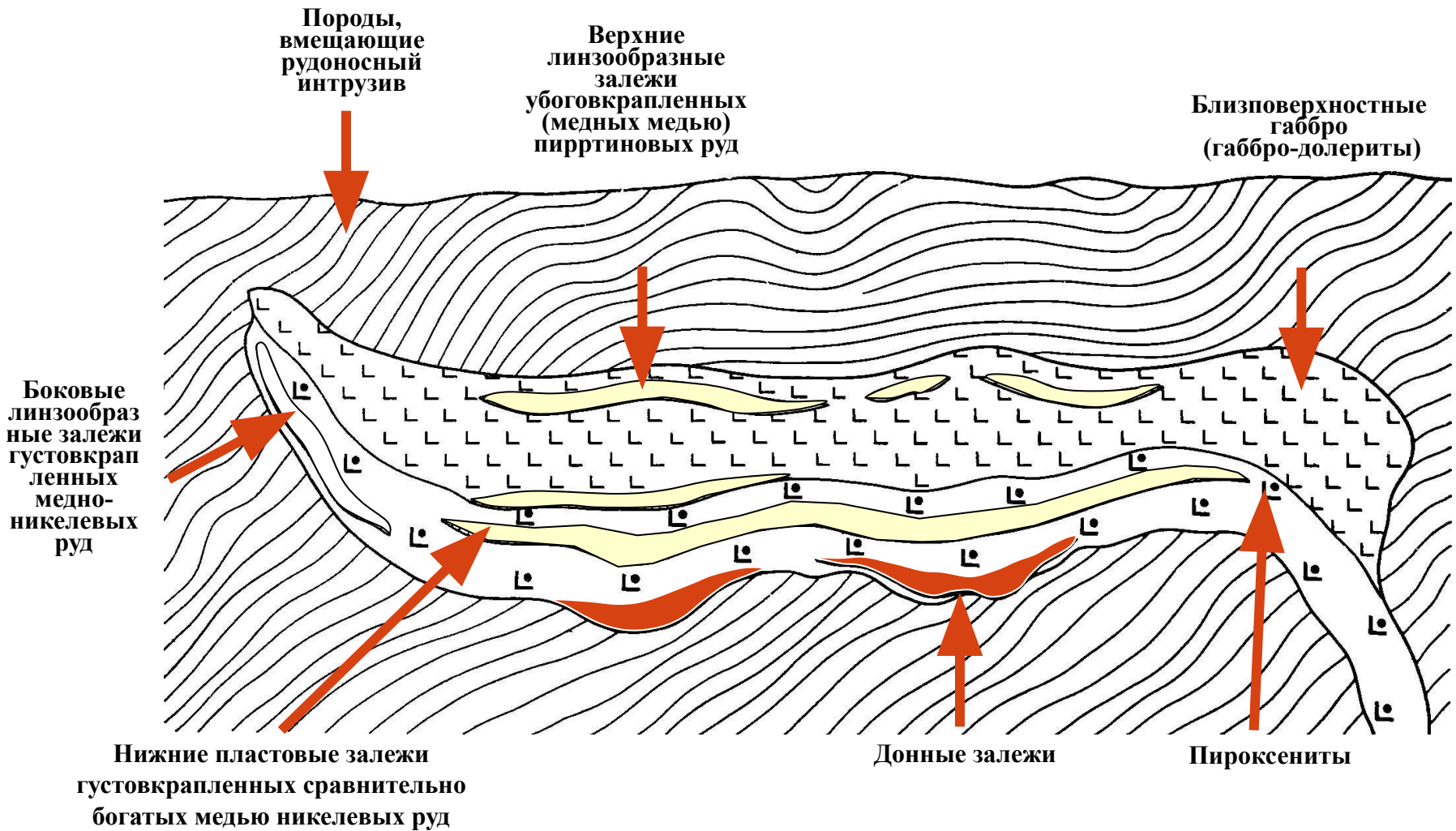
\* По данным: Попов В.В., Сафонов Ю.Г. Проблемы развития и эффективного использования минерально-сырьевой базы России. – М.: ИГЕМ РАН, 2003.

\*\* По данным: Норильский никель. Годовой отчет ОАО «ГМК Норильский никель» за 2003 год – [http](http://www.nornik.ru/upload/shareholder/2004/Annual_Report_GMR.pdf) По данным: Норильский никель. Годовой отчет ОАО «ГМК Норильский никель» за 2003 год – [http://](http://www.nornik.ru/upload/shareholder/2004/Annual_Report_GMR.pdf) По данным: Норильский никель. Годовой отчет ОАО «ГМК Норильский никель» за 2003 год – [http://www.nornik.ru/upload/shareholder/2004/Annual\\_Report\\_GMR.pdf](http://www.nornik.ru/upload/shareholder/2004/Annual_Report_GMR.pdf). - 2004.



Типы разрезов рудных тел у окраины интрузива Садбери (по А. Колмену): а - краевые залежи; б - дислоцированные залежи; в и г - жиллообразные залежи в основании интрузива; 1 - конгломаты; 2 - древние граниты; 3 - древние зеленокаменные породы; 4 - сплошные руды; 5 - прожилковые руды.

# Ликвационные месторождения наиболее характерны для сульфидных медно-никелевых месторождений



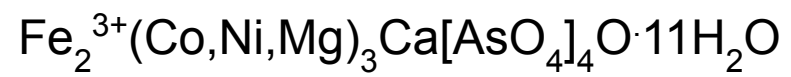
**Плутоногенные гидротермальные месторождения.** К этому типу относятся жильные месторождения никель-кобальтовых арсенидов, нередко с серебром и висмутом. Они возникают в условиях низких и средних температур. Месторождения этого генетического типа известны в России (Ховуаксы в Туве), Марокко (Бу-Аззер), Канаде (Эльдорадо, Кобальт), Германии (Рудные горы), Финляндии и Киргизии. **Рудные тела обычно представлены** жилами и жиллообразными залежами, которые прослеживаются на десятки – первые сотни метров по простиранию и на столько же по падению. **Мощность их варьирует** от 0,1 до 1,0 м и более, и в среднем составляет 0,4–0,5 м. **Главные рудные минералы:** никелин, смальтин, хлоантит, скуттерудит, саффлорит. Месторождения различаются по составу руд и условиям образования. Наиболее характерны следующие рудные формации: 1) арсенопирит-глаукодот-кобальтиновая (месторождение Бу-Аззер); 2) смальтин-хлоантит-никелиновая (Ховуаксы); 3) смальтин-хлоантит-аргентитовая (Кобальт); 4) пятиэлементная формация (Ni–Co–Ag–Bi–U) (Эльдорадо). Этот генетический тип месторождений играет резко подчиненную роль по запасам и добыче никеля.

Схема геологического строения  
**Ховуаксинского рудного поля** (по А.Богомолу,  
1970).

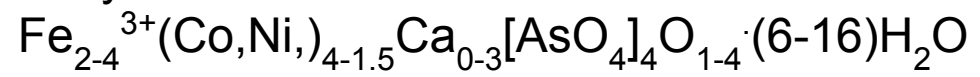
1 - третичные и четвертичные отложения; 2 - живецкие осадочные отложения; 3 - нижнедевонские осадочно-вулканогенные породы; 4-7 - силурийские породы: 4 - конгломераты, песчаники, алевролиты (пачка а), 5 - переслаивание скарнов и алевролитов (пачка б), 6 - скарны (пачка с), 7 - переслаивание алевролитов и песчаников (пачка д); 8 - вулканогенные породы нижнего кембрия; 9 - граниты; 10 - дайки грахитовых порфиров; 11 — субвулканитовые пластовые залежи диабазов, габбро-диабазов, диабазовых порфиритов; 12 - субвулканические пластовые залежи андезитовых порфиритов; 13 - дайки диабазов; 14 - дайки кварцевых порфиров; 15 - разрывные нарушения: а - первого порядка (1 - Юго-Западный разлом, 2 - Северный надвиг, 3 - северо-западный (Жерловый) разлом, 4 - Западный разлом, 5 - Восточный разлом), б - разрывные нарушения разных порядков; 16 - рудные жилы; 17 - участки восточного блока рудного поля: I - Южный, II - Северный, III - Средний, IV - Промежуточный



Смольяниновит



Ховуаксит



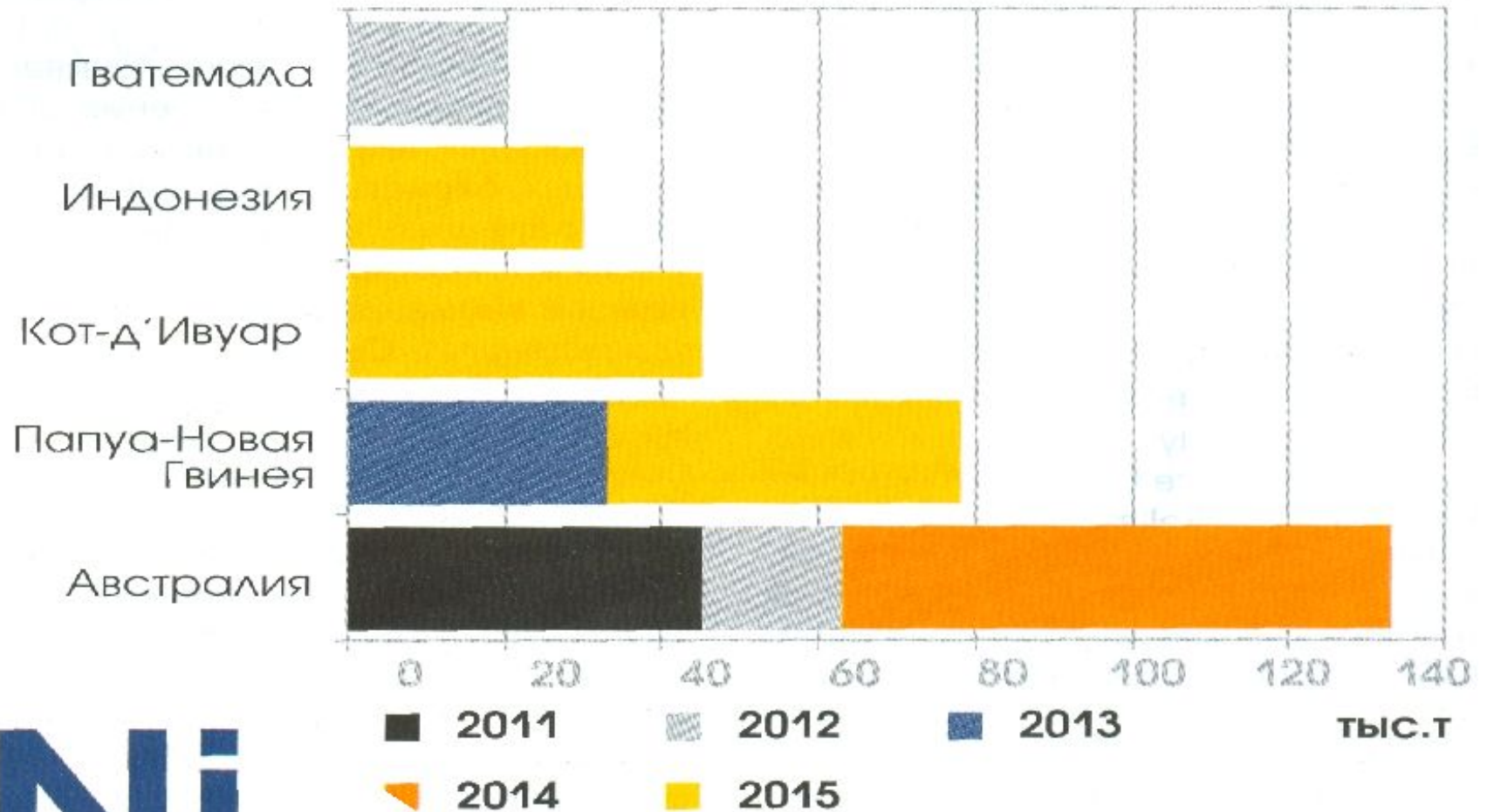
# Месторождения коры выветривания

(формация силикатных никелевых руд) формируются при латеритном выветривании ультрабазитов.

**По форме и условиям залегания выделяют** три морфологических типа месторождений: площадные; линейные (линейно-трещинные и контактово-карстовые); линейно-площадные.

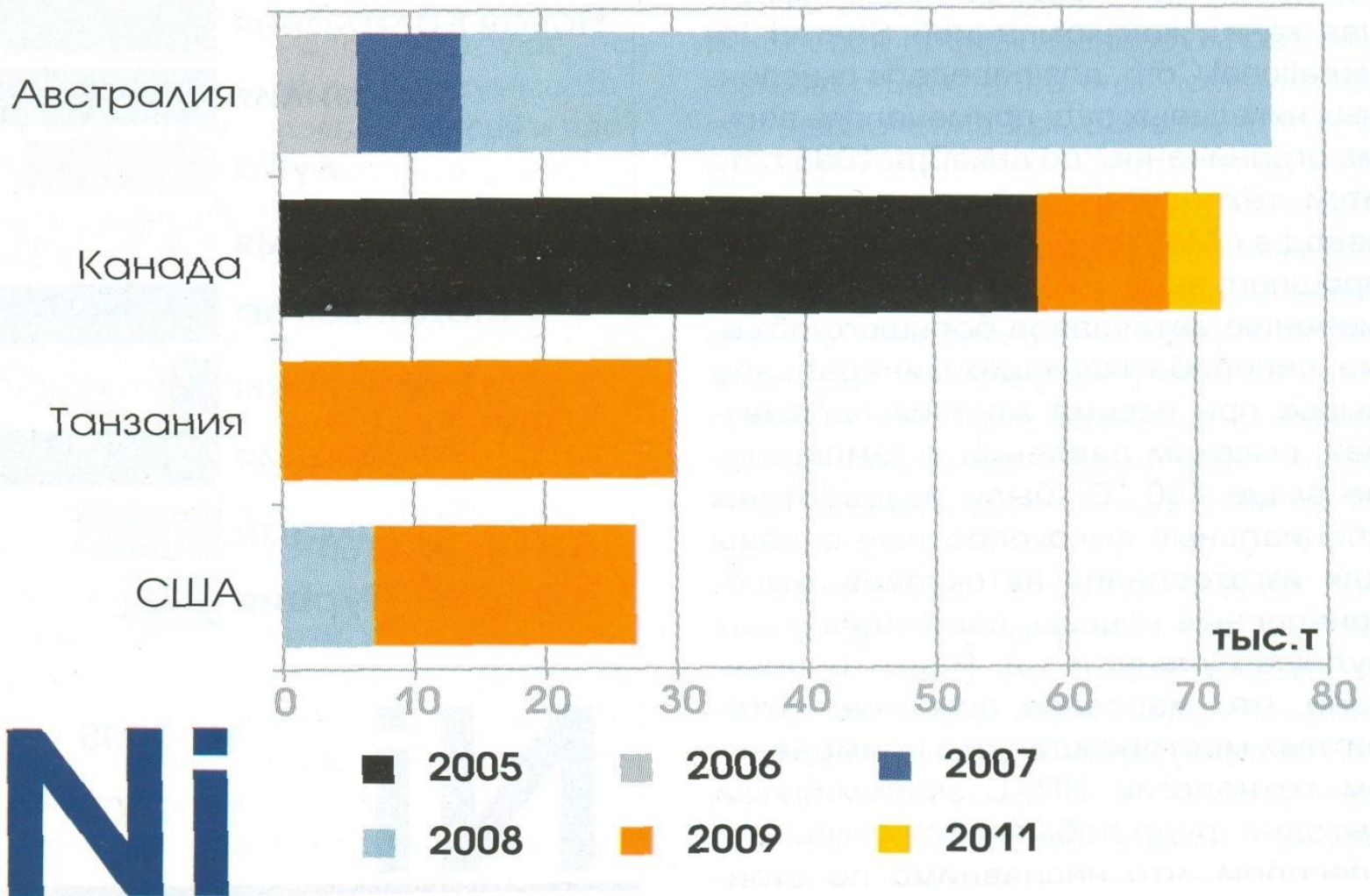
Месторождения площадного типа характеризуются плащеобразной формой, мощность их 3-20 м. Нижний контакт имеет сложные очертания из-за многочисленных карманообразных углублений. Никелевые месторождения линейного типа свойственны районам с развитыми зонами тектонических нарушений. Рудные тела имеют сложную морфологию, нередко образуют параллельные крутопадающие тела мощностью от 1 до 50 м.

# МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПРОЕКТИРУЕМЫХ К ВВОДУ В СТРОЙ НА НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В 2010-2015 гг.

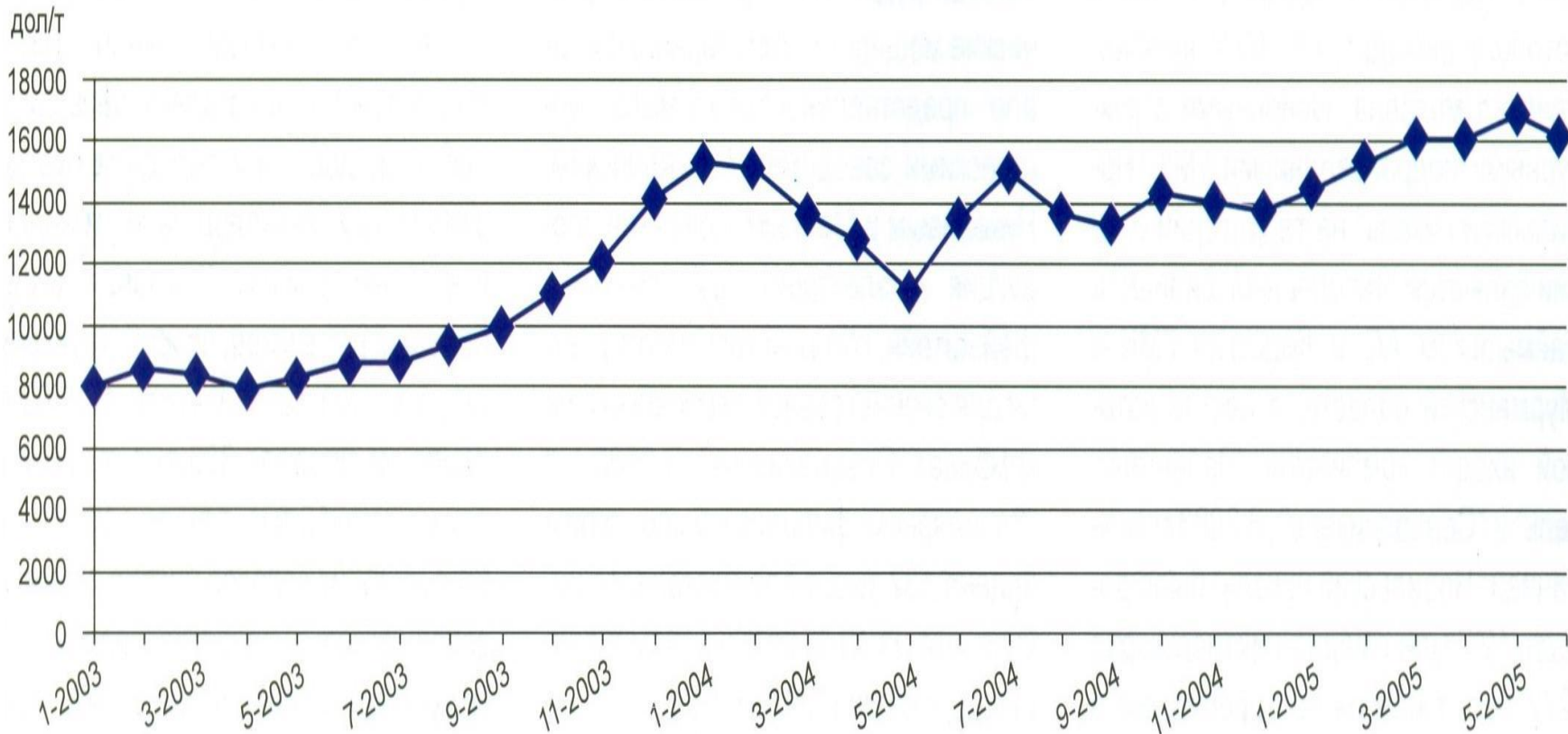


Ni

# МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПРОЕКТИРУЕМЫХ К ВВОДУ В СТРОЙ НА СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ



# ДИНАМИКА СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЦЕН ЛОНДОНСКОЙ БИРЖИ МЕТАЛЛОВ ЗА РАФИНИРОВАННЫЙ НИКЕЛЬ В 2003-2005 гг.



Чайское

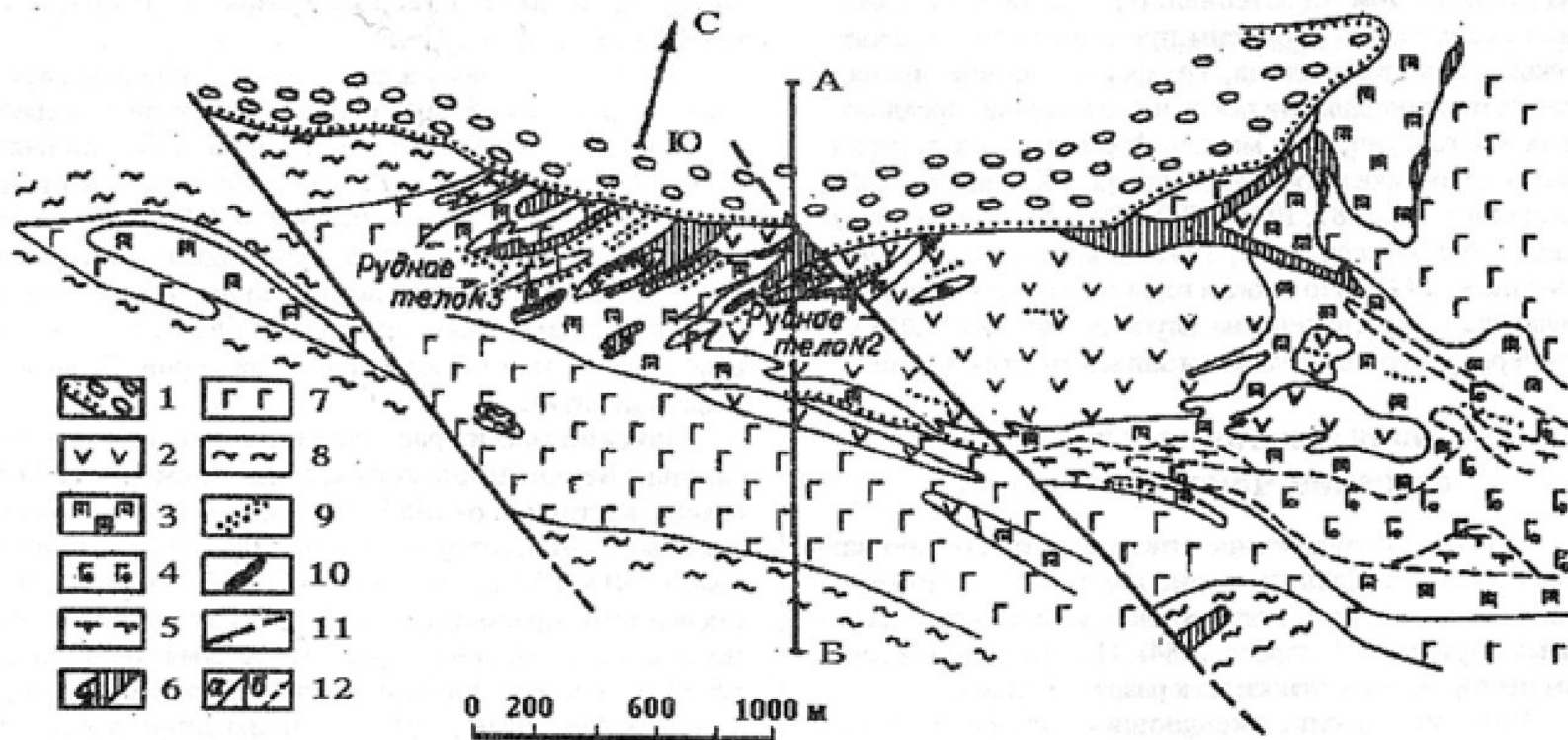
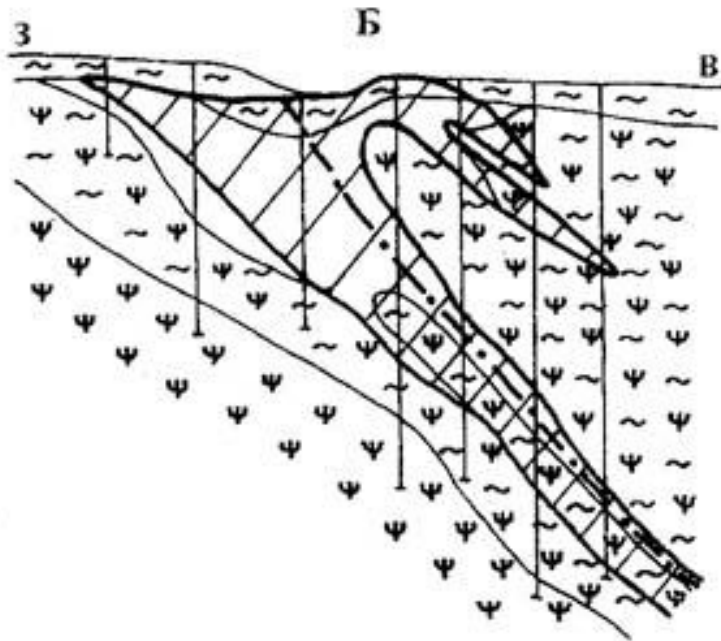







Рис. 2. Геологическое строение Чайского никеленосного массива  
(составлено Э.Г.Конниковым, А.А.Цыганковым с использованием материалов ПГО "Бурятгеология"):

1 – отложения холоднинской свиты; 2 – дуниты; 3 – плагиоперидотиты; 4 – оливиновые габбро-пориты; 5 – троктолиты; 6 – пироксениты; 7 – габбро-пориты, габбро; 8 – биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы; 9 – вкрапленные сульфидные Cu-Ni руды; 10 – массивные руды; 11 – разломы; 12 – границы пород: резкие (а) и постепенные (б)

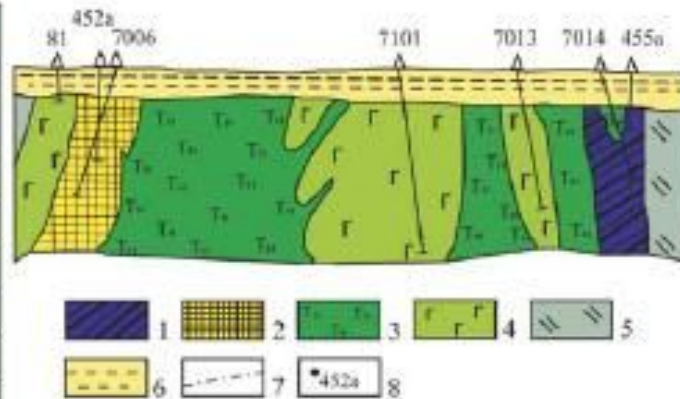
# Геологический разрез Рогожинского месторождения никеля в Уфалейском рудном районе



-  Серпентиниты
-  Серпентиниты трещиноватые полуразрушенные
-  Красные глины (охры)
-  Контур никелевых руд
-  Разрывные нарушения

Широко распространенные на Урале ультраосновные породы: дуниты, перидотиты, пироксениты, серпентиниты – содержат до 0,2–0,3% никеля, который присутствует в них в основном в виде изоморфной примеси в силикатных минералах: оливине, пироксене, серпентине. Однако природа помогла выделить никель из этих минералов. В процессе химического выветривания ультраосновных пород оливин, пироксен и серпентин разрушаются, а содержащийся в них никель переходит в водный раствор, из которого затем осаждается в коре выветривания в виде самостоятельных минералов – водных силикатов никеля – гарниерита и ревдинскита, а также в виде никельсодержащих глинистых минералов – нонтронита, монтмориллонита и охристых гидроокислов железа. Ассоциации этих минералов и образуют гипергенные никелевые руды остаточного и инфильтрационного генезиса, из которых никель сравнительно легко извлекается на никелевых заводах.





Схематическая геологическая карта и разрез Большемартыновского интрузива и его положение в структуре Воронежского кристаллического массива (по Фролову С. М., Багдасаровой В. В., [1]): 1–4 – породные ассоциации мамонского (1), ширяевского (2–3) и каменского (4) типов; 5–6 – породы воронцовской серии (5) и осадочного чехла (6); 7 – тектонические нарушения; 8 – скважины и их номера

# Основные месторождения свинца РФ (76% запасов)

месторождение	местонахождение	запасы (%)
ГОРЕВСКОЕ	КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ	42
ХОЛОДНИНСКОЕ	БУРЯТИЯ	14
ОЗЁРНОЕ	БУРЯТИЯ	11
НИКОЛАЕВСКОЕ	ПРИМОРЬЕ	4
КОРБАЛИХИНСКОЕ	АЛТАЙ	3
НОВО-ШИРОКИНСКОЕ	ЧИТИНСКАЯ ОБЛАСТЬ	2