

Портативный спектрометр LIBS:

*инновационный подход к оценке содержания лития
в редкометальных пегматитах*

Авторы: Русакова М.-А.

Машковцев Г.А.

Секунда актуальности

Структура потребления лития в мире

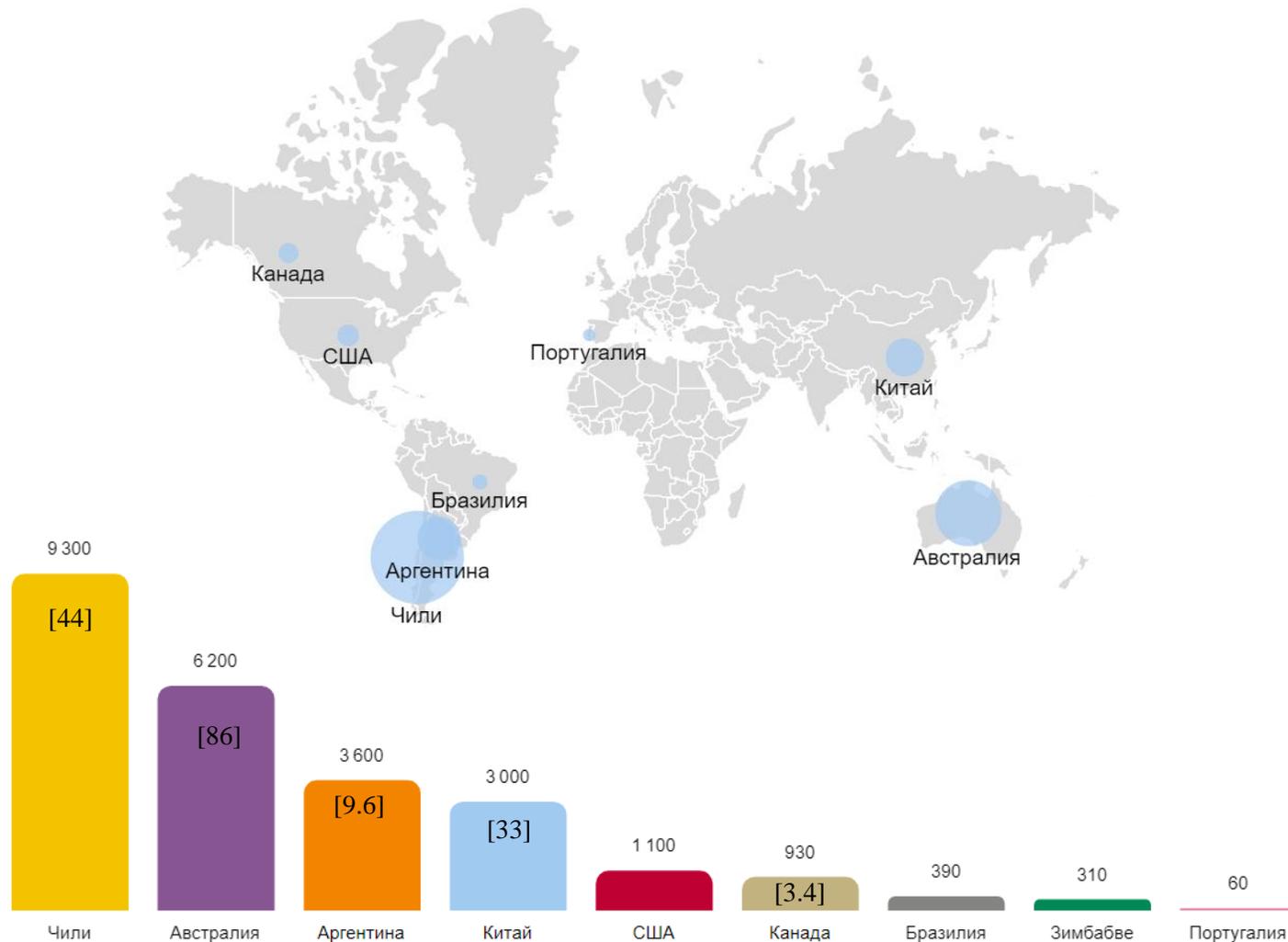


По оценке на 2022г
[Саркаров и др., 2022]

Структура потребления лития в России



Мировые запасы [добыча] лития (металл, тыс.т) на 1 января 2024 года:



Секунда актуальности

В настоящее время Россия полностью зависит от **импорта** литиевого сырья
[Боярко и др., 2022]

Чили

Аргентина

Китай

Боливия



Предложение



Спрос

С 2023 года в России начались проекты по разработке месторождений лития:

Колмозерское

- Запасы $A+B+C_1 Li_2O$ – 738 тыс.т
- (по оценке на 2022г)

Полмостундровское

- Запасы $B+C_1+C_2 Li_2O$ – 351.7 тыс.т
- (по оценке на 2022г)

Завитинское

- Неотработанные запасы $C_1+C_2 Li_2O$ – 207.1 тыс.т
- (по оценке на 2022г)

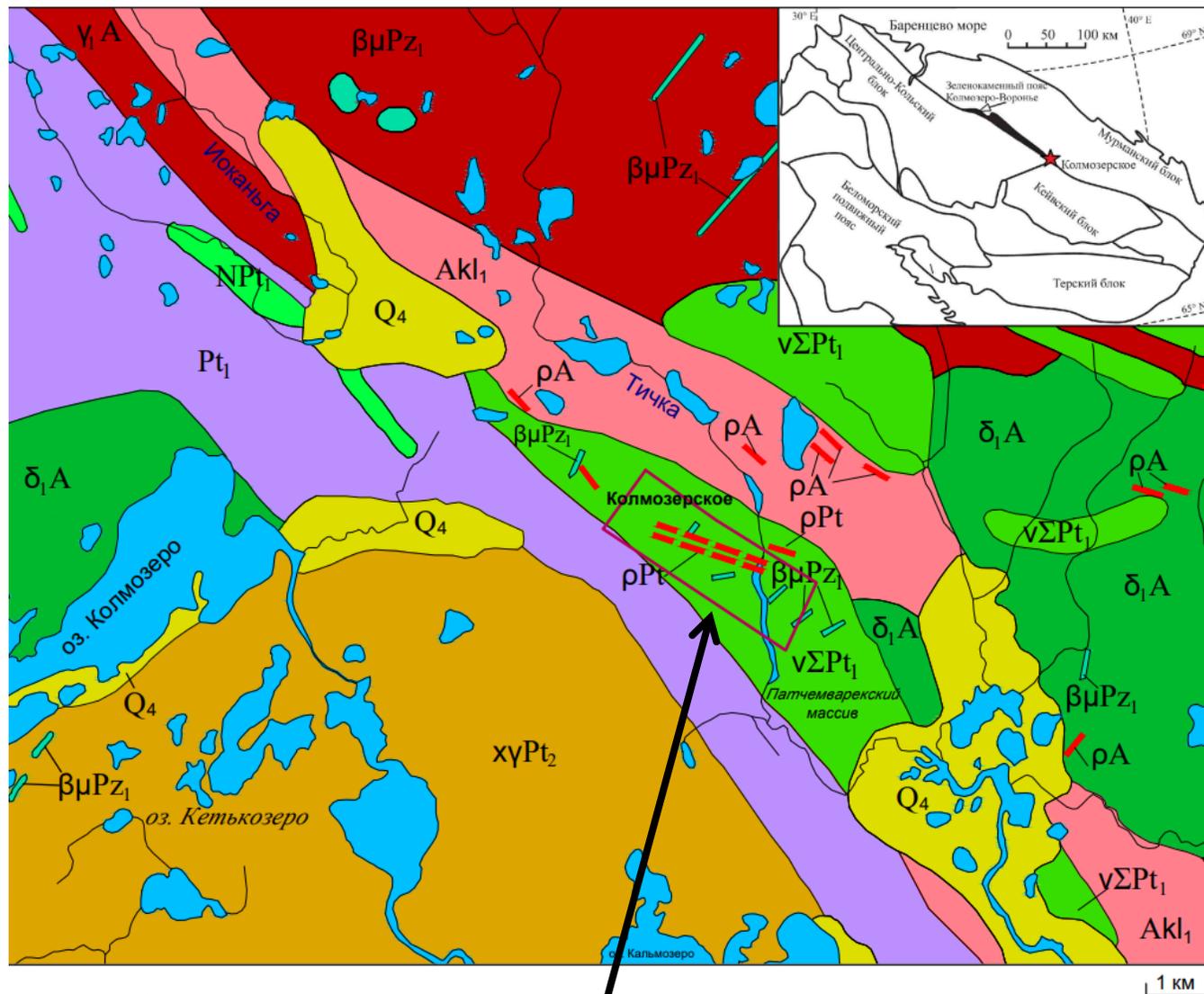
Ковыктинское и Ярактинское

- Добыча лития из пластовых рассолов

Л
и
т
и
е
в
о
е

с
ы
р
ь
е

Объект исследования



Условные обозначения

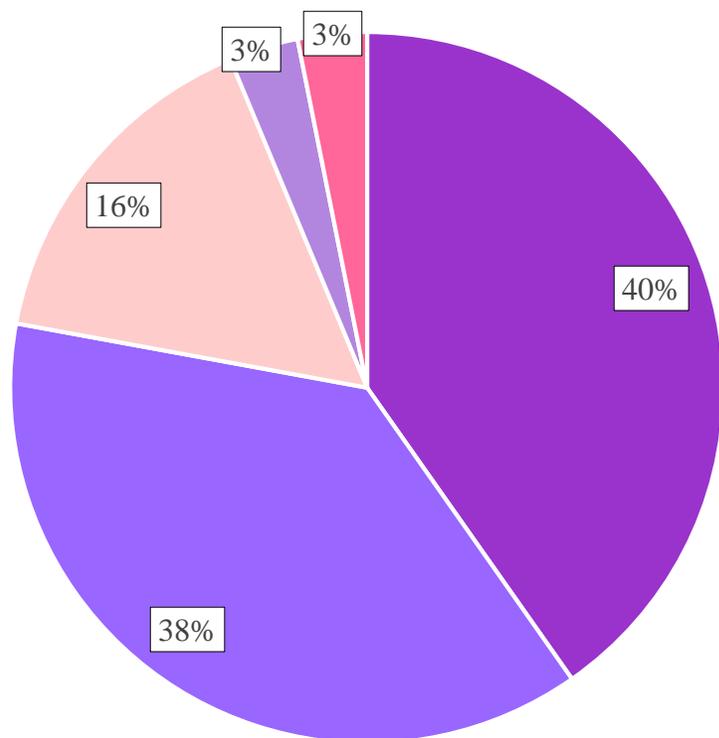
КАЙНОЗОЙСКАЯ СИСТЕМА	ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СИСТЕМА	Q ₄	Современный отдел. Торфяники
	Q ₃	Верхний отдел. Ледниковые валунные супеси	
ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ГРУППА	КЕЛЬВСКАЯ СЕРИЯ	Pt ₁	Вулканогенно-осадочный комплекс Колмоzero-Воронья
	КОЛЬСКАЯ СЕРИЯ	Akl ₁	Толща биотитовых гнейсов. Биотитовые гнейсы с подчиненными гранато-биотитовыми гнейсами
НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ КАЛЕДОНСКИЕ ИНТРУЗИИ	βμPz ₁	Дайки диабазов, габбро-диабазов, габбро-норитов и габбро	
	xγPt ₂	Щелочные граниты, сиениты, мнаскиты	
ПОЗДНЕ СРЕДНЕ-ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	ρPt	Пегматитовые жилы	
	vΣPt ₁	Метагаббро-анортозиты и связанные с ними амфиболиты	
РАННИЕ НИЖНЕ-ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	NPt ₁	Амфиболиты: полевошпатовые, гранатовые и актинолит-тремолитовые	
	ρA	Пегматитовые жилы	
ПОЗДНИЕ АРХЕЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	γ ₁ A	Олигоклазовые гнейсо-граниты и гнейсо-гранодиориты	
	δ ₁ A	Диориты, габбро-диориты и гнейсо-гранодиориты	
Колмоzeroское		Колмоzeroское месторождение	

Главный Li-содержащий минерал – сподумен (Spd)



Колмоzeroское месторождение лития

Типы пегматитов Колмозерского месторождения



- Пегматит сподуменовый
- Пегматит сподумен-полевошпатовый
- Пегматит кварц-альбитовый
- Пегматит кварц-сподуменовый
- Пегматит кварц-полевошпатовый

Структура преобладающих типов пегматитов неоднородная [Морозова, 2018].

Пегматит сподумен-полевошпатовый
Пегматоидной структуры



Пегматит сподуменовый
среднезернистой структуры



Современные методы оценки содержания лития

✓ Количественный анализ содержания Li

ИСП АЭС

✓ Качественный анализ содержания Li

Метод нейтрон-
нейтронного каротажа
[Патент RU 2 771 438 C1]

Li

✓ Наличие минералов лития

Визуальная
минералогическая
оценка

✓ Содержание легких элементов

LIBS

~~Li~~

РФА*

* Ограниченный диапазон определяемых элементов

Что такое LIBS?

laser induced breakdown spectroscopy:

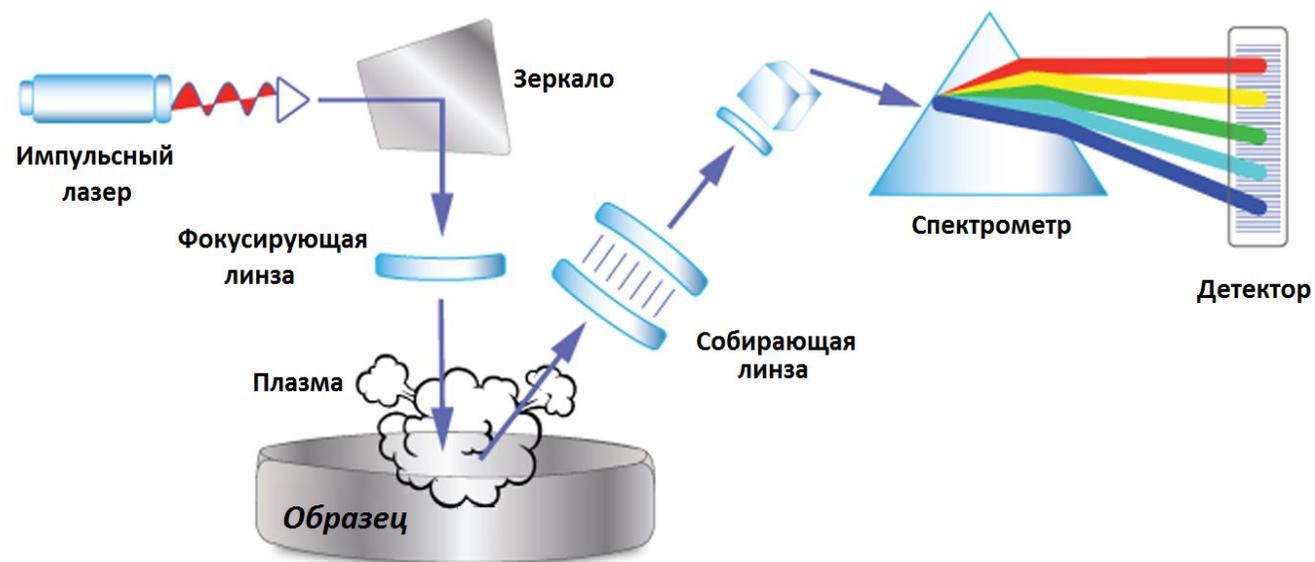
- спектроскопия лазерного пробоя
- лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия

Прибор LIBS



SciAps HH-LIBS серии Z903

Упрощенная схема устройства



Для определения лития Laser Z использует спектральные линии на длинах волн: 610.386 нм и 670.809 нм

Методы исследования

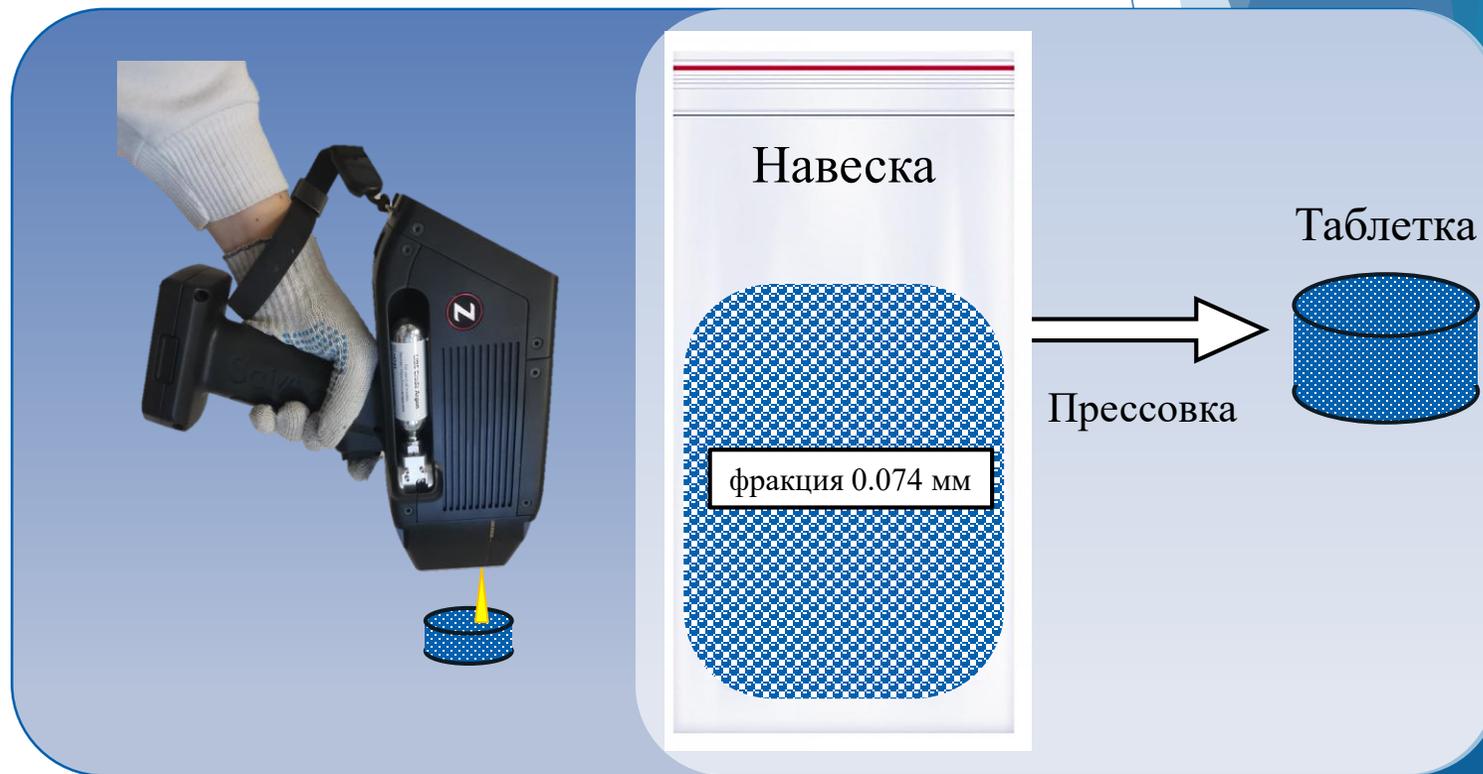
ФГБУ «ВИМС» + ООО «НН Технические Сервисы»

№1. Экспресс-замеры

Проведено 4644 замера

№2. Замеры по аналитическим навескам

Проанализировано 1150 проб



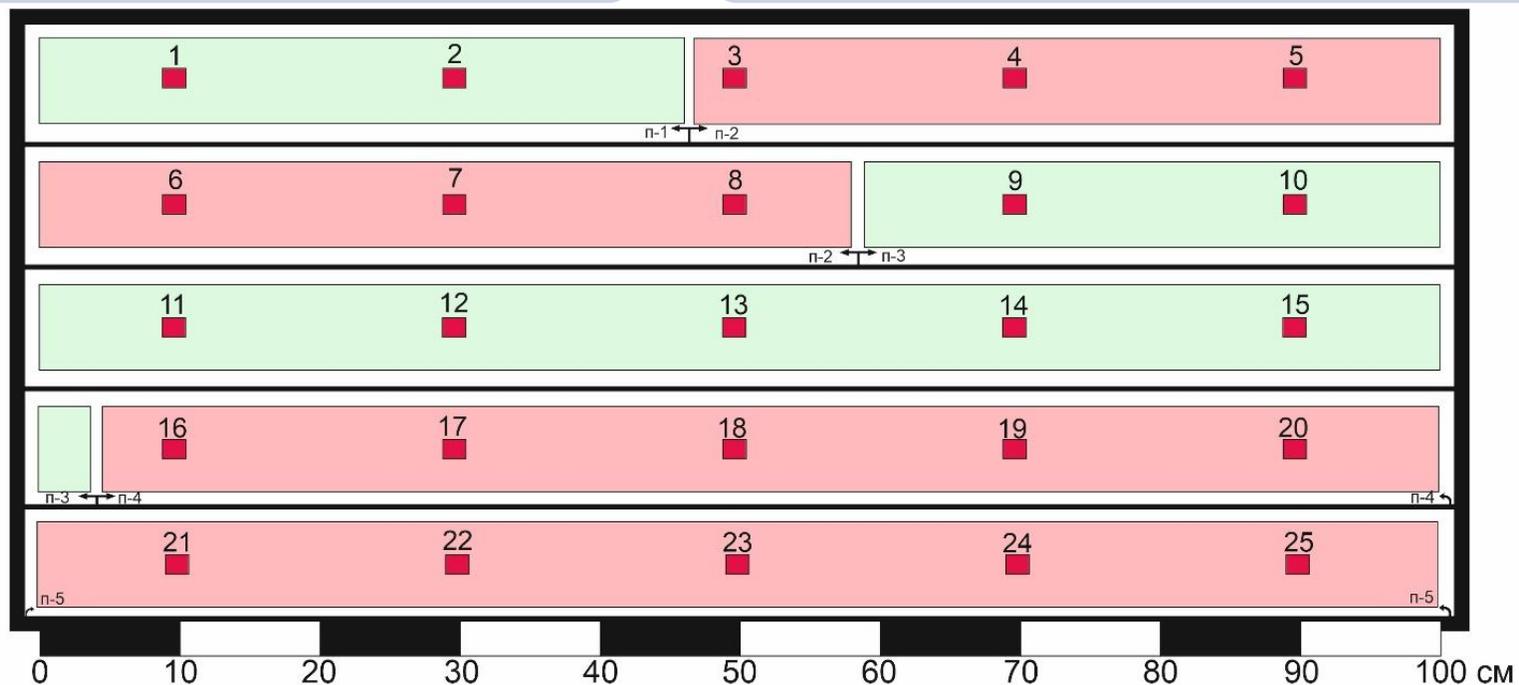
Методы исследования

№1. Экспресс-замеры

Произведено 4644 замера

№2. Замеры по аналитическим навескам

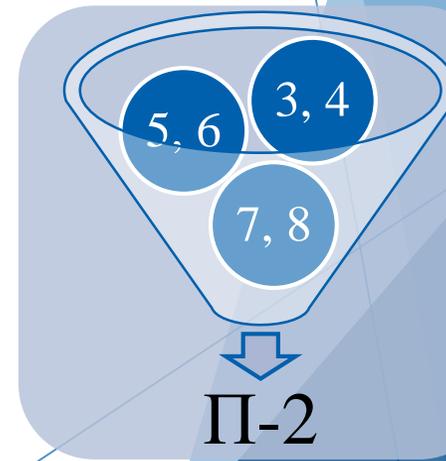
Проанализировано 1150 проб



- 21 Точки замеров по керну
- ↔ п-3 ↔ Интервалы сплошного опробования
- Рудные тела
- вмещающие породы



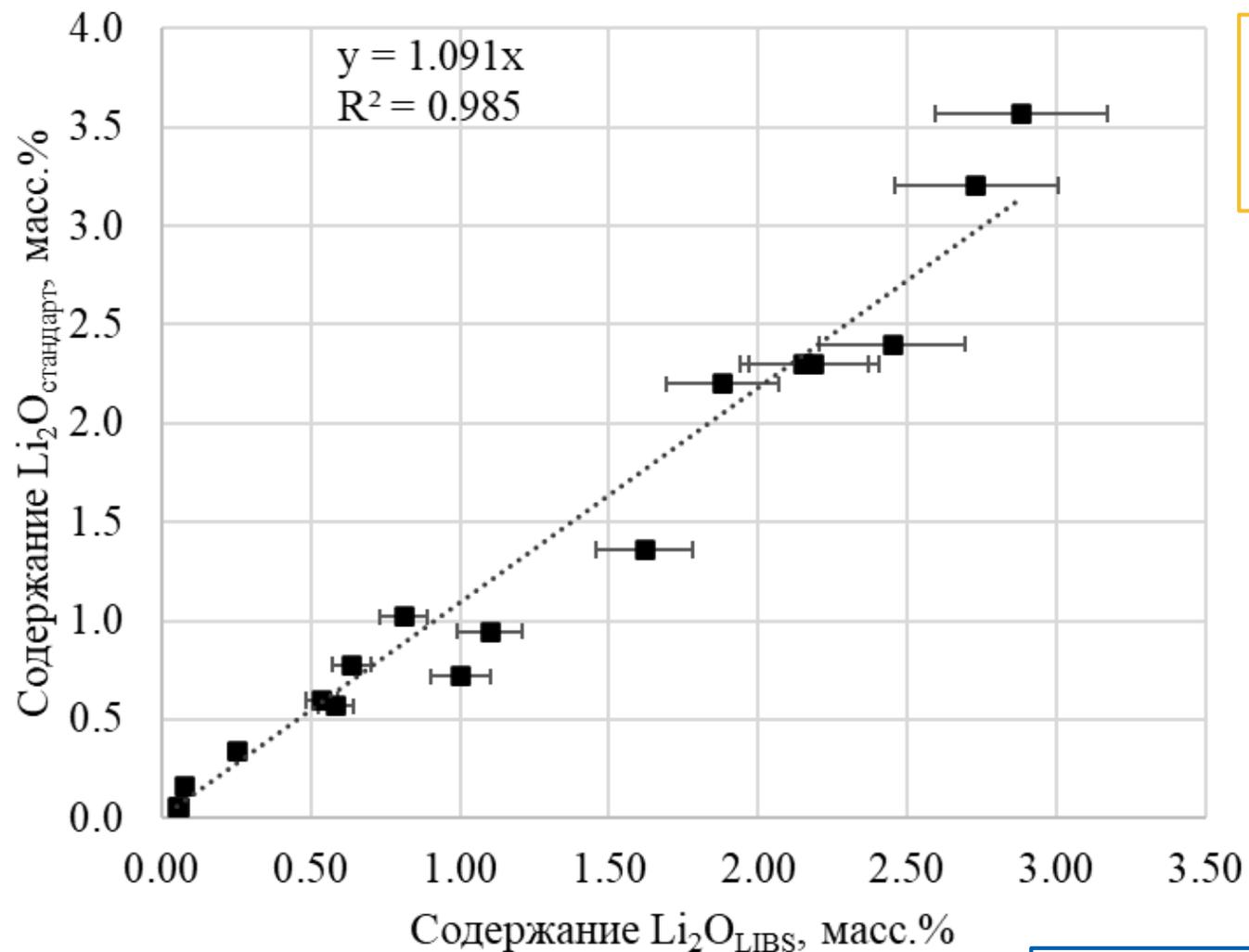
П-1



П-2

Подготовка прибора

Калибровка



За подготовку и настройку прибора благодарим сотрудников поисковой минералогии, в особенности Таришка А.Е.

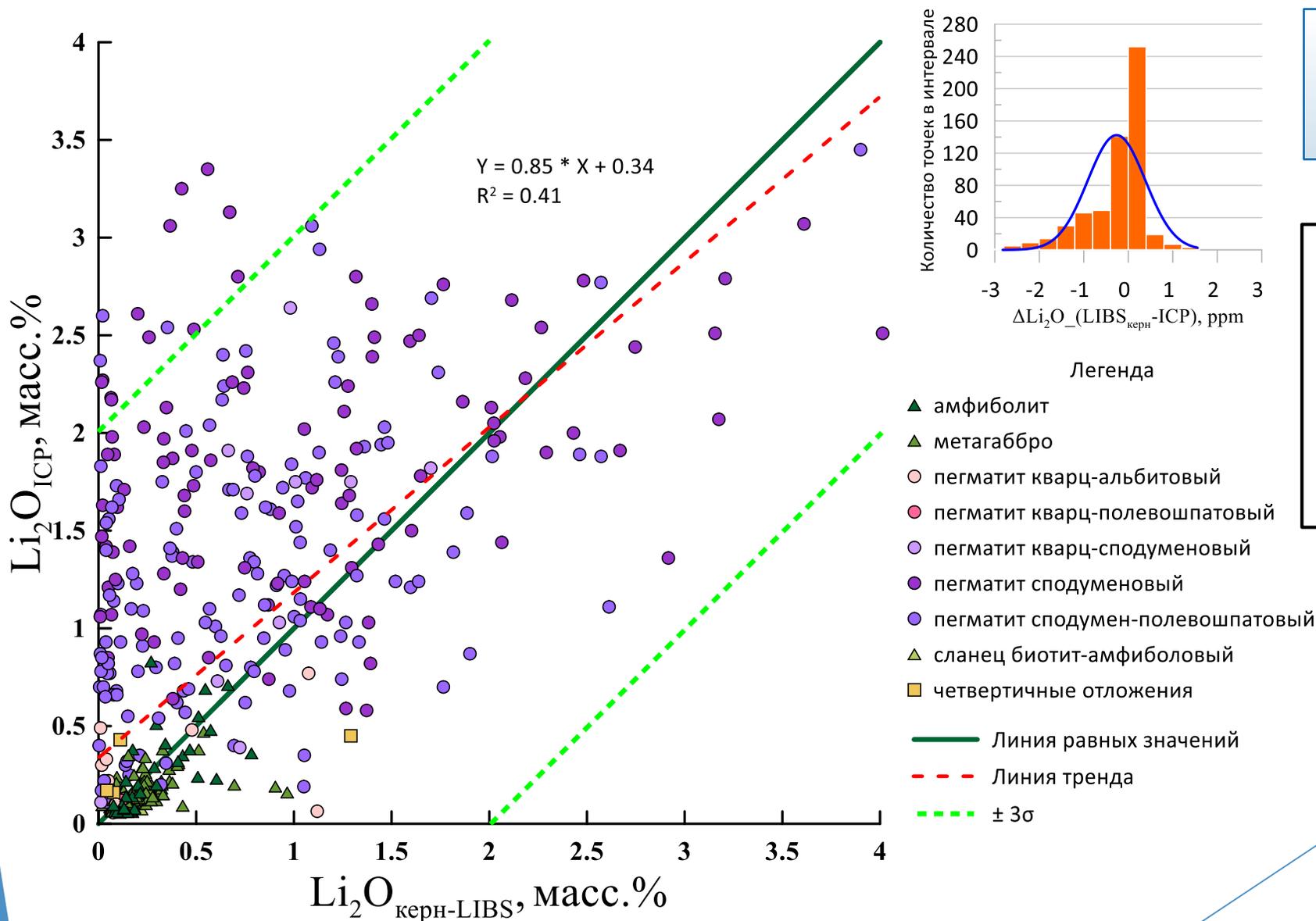
17 образцов с известным
Содержанием Li_2O масс.%

Диапазон значений
От 0.06 до 3.6 масс.%

Рекомендуется проводить на каждый образец серию не менее чем из 4 замеров
Для уменьшения погрешности измерения

Калибровка выстроена по пику лития 610.386 нм

Результаты экспресс-замеров



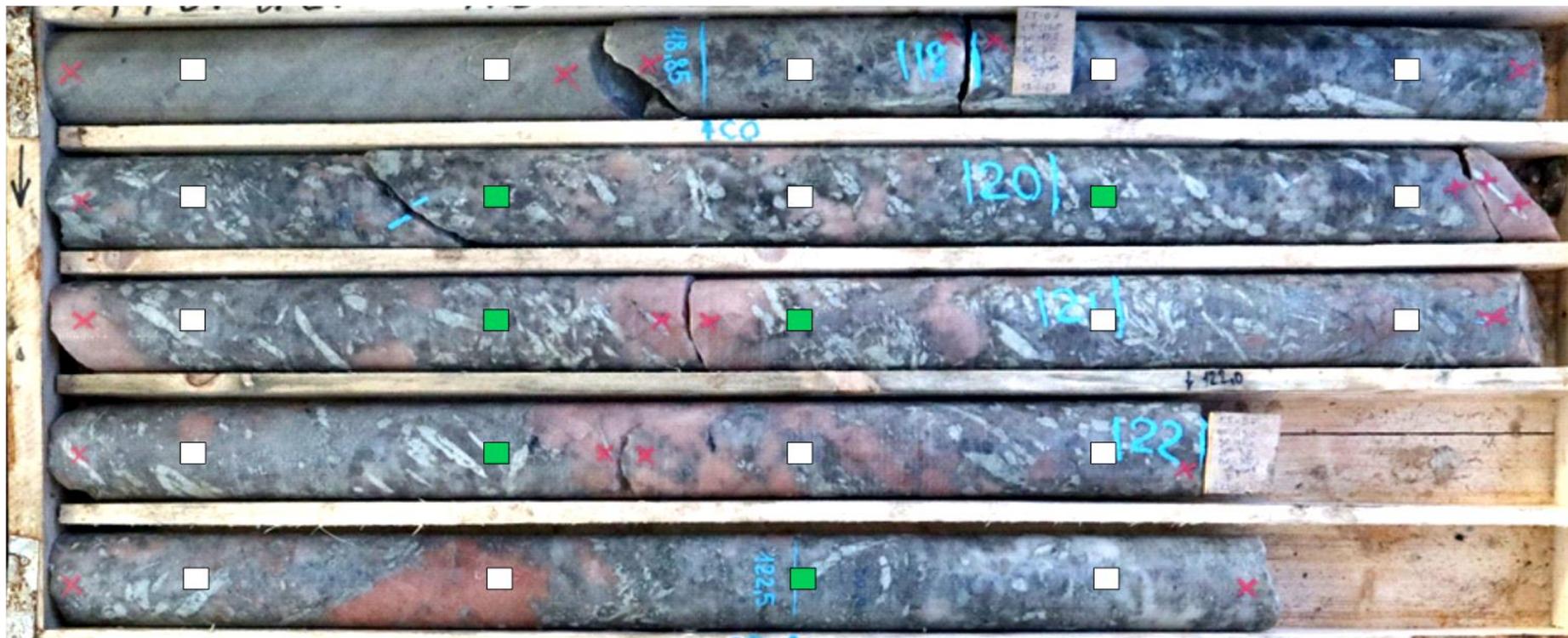
Произведено
4644 замера
* по цельному керну

Коэффициент корреляции
r = 0.62
По шкале Чеддока
сила связи заметная
По критерию Стьюдента
значение статистически значимым

Полуколичественный метод

Результаты экспресс-замеров

Метод показывает содержание лития в **минерале**, а не в породе

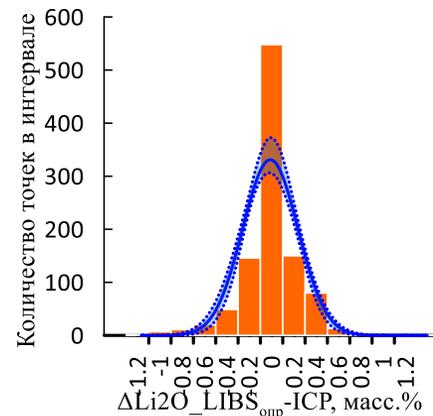
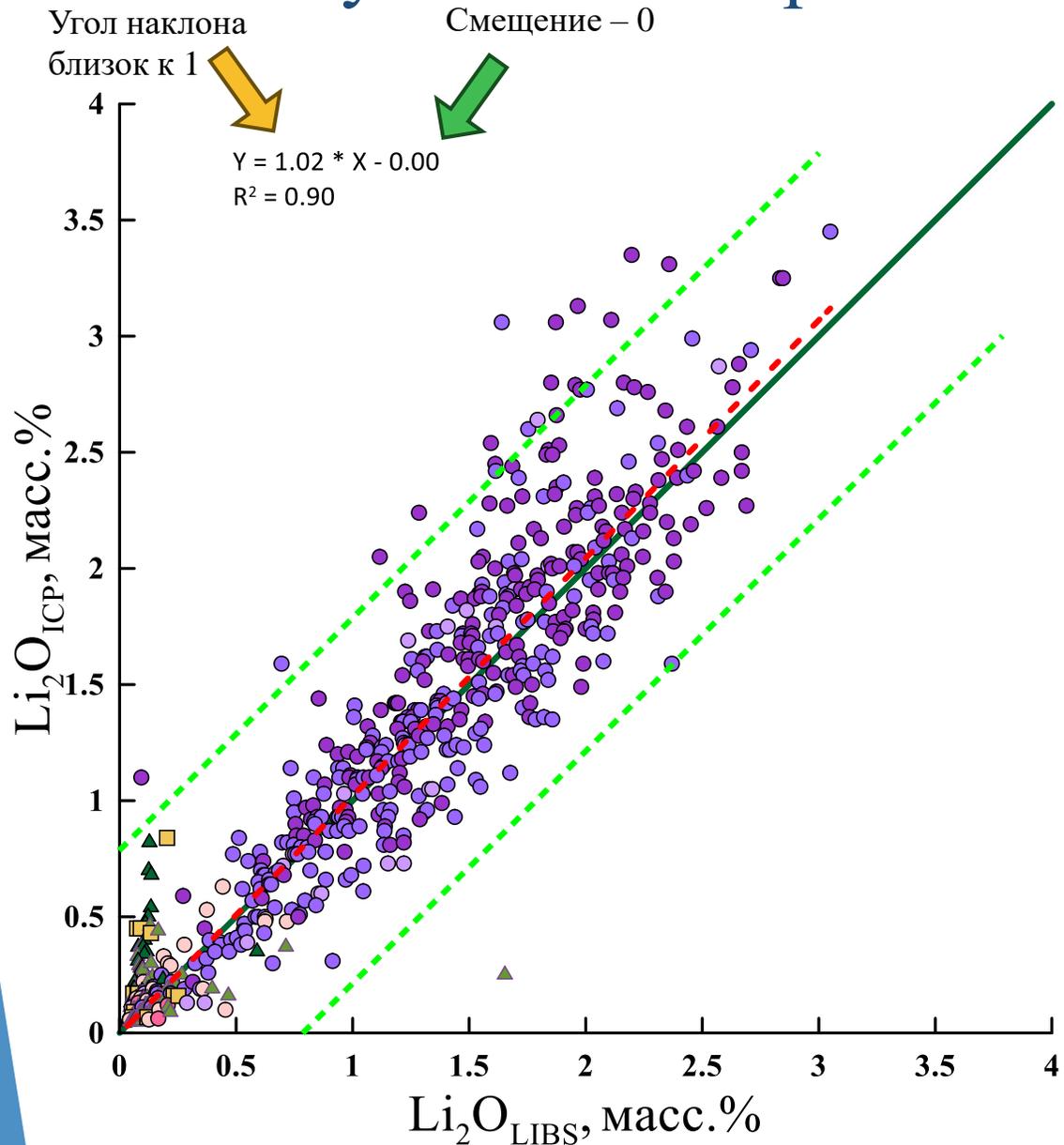


□ - содержание Li менее 0.3 масс.%

■ - содержание Li более 0.3 масс.%

Сравнивать результаты полученные точечным методом с интервальным опробованием – не корректно

Результаты интервального опробования



Легенда

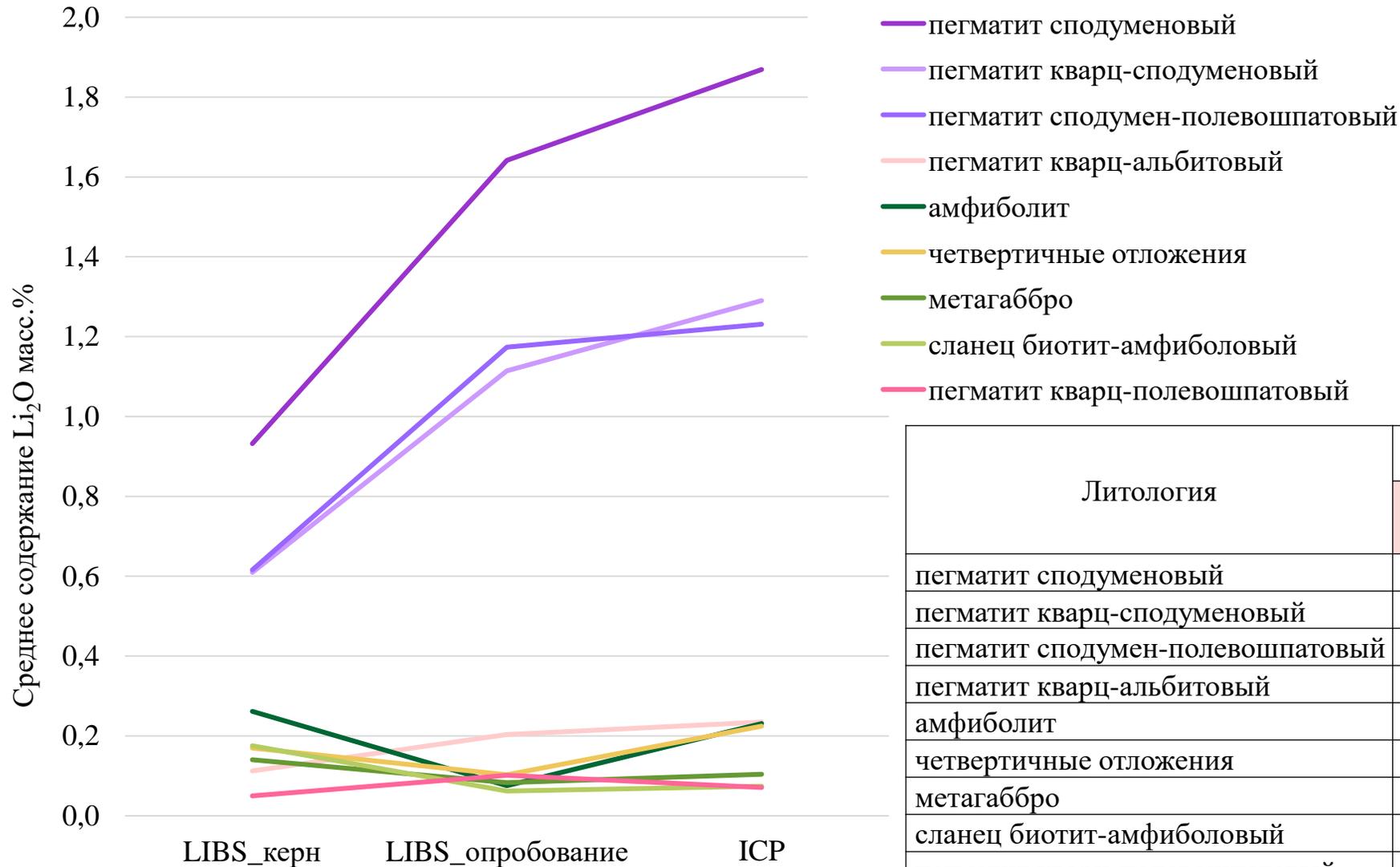
- ▲ амфиболит
 - ▲ метагаббро
 - пегматит кварц-альбитовый
 - пегматит кварц-полевошпатовый
 - пегматит кварц-сподуменовый
 - пегматит сподуменовый
 - пегматит сподумен-полевошпатовый
 - ▲ сланец биотит-амфиболовый
 - четвертичные отложения
- Линия равных значений
- ± 3σ

Проанализировано
1149 проб
* по таблеткам

Коэффициент корреляции
r = 0.95
По шкале Чеддока
сила связи весьма высокая
По критерию Стьюдента
значение статистически значимым

Количественный метод

Среднее содержание Li_2O в породах



Литология	Li_2O , масс. %		
	LIBS_кern	LIBS_опробование	ICP
пегматит сподуменовый	0.93	1.64	1.87
пегматит кварц-сподуменовый	0.61	1.11	1.29
пегматит сподумен-полевошпатовый	0.62	1.17	1.23
пегматит кварц-альбитовый	0.11	0.20	0.23
амфиболит	0.26	0.08	0.23
четвертичные отложения	0.17	0.10	0.22
метагаббро	0.14	0.08	0.10
сланец биотит-амфиболовый	0.18	0.06	0.07
пегматит кварц-полевошпатовый	0.05	0.10	0.07

Выводы

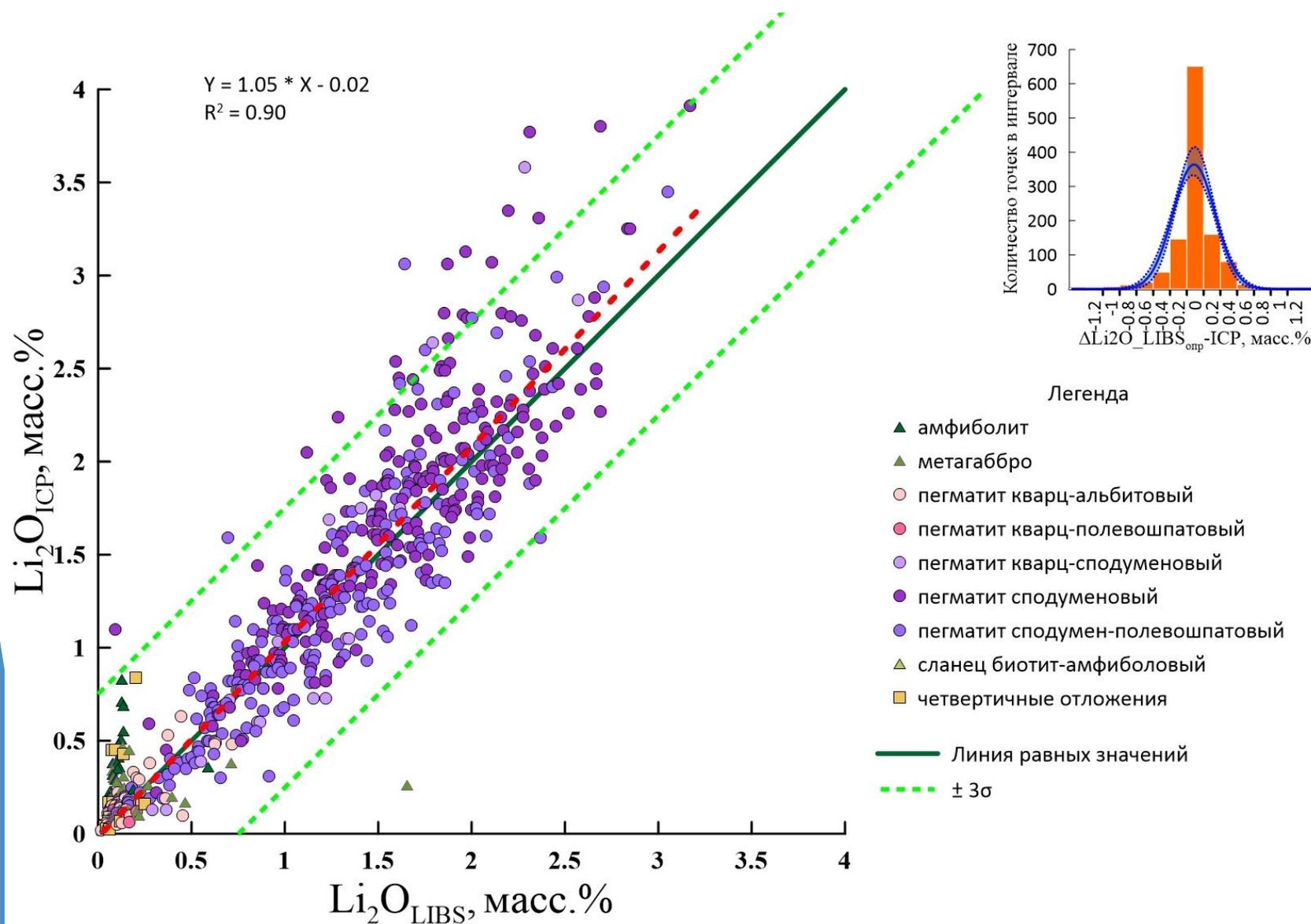
- ✓ 1. Портативный анализатор LIBS представляет собой эффективный инструмент для количественного определения содержания лития в редкометальных гранитных пегматитах.
- ✓ 2. Метод LIBS может быть применен для полуколичественного анализа содержания лития in-situ по цельному керну.
- ✓ 3. Прибор LIBS также подходит для количественного анализа содержания лития в спрессованных аналитических навесках.
- ✓ 4. Портативное устройство LIBS предоставляет возможность получения опережающих данных непосредственно в полевых условиях.

Спасибо за внимание!



Created by: Макаров Павел

Результаты интервального опробования



Проанализировано
 1149 проб
 * по таблеткам

Коэффициент корреляции
r = 0.95
 По шкале Чеддока
 сила связи весьма высокая
 По критерию Стьюдента
 значение статистически значимым

Количественный метод

+ экстраполяция