

Инжиниринговый дивизион государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ»

«Опыт применения минералого-петрографических исследований горных пород в инженерных изысканиях на площадках проектирования и строительства АЭС с целью оценки и прогноза устойчивости территории относительно карстовых провалов и оседаний»

Докладчик: Попенко Н.А.
БКИИ, «Атомэнергопроект»
Группа компаний ASE



МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОД



Ключевые слова: минералого-петрографический, рентгено-фазовый и рентгено-спектральный анализы, сульфатный, карбонатный, меловой карст.

Минералого-петрографические исследования пород широко применяются в геологических исследованиях (при поиске и разведке полезных ископаемых), а в инженерной геологии практически не применяются. При оценке инженерно-геологических условий территорий размещения, проектирования и строительства АЭС весьма существенную роль играют минералого-петрографические характеристики пород.

Как показали исследования последних лет, поведение пород во многом зависит от минералогического состава фракций [1], а деформации различного генезиса приводят к необратимым текстурным изменениям в горных породах.

Таким образом, минералого-петрографические исследования дают возможность прогнозировать поведение горных пород, а изучение структурно-текстурных особенностей горных пород – выявить зоны деформации или поверхности смещения тел.

Проведение массовых минералого-петрографических исследований не требует больших затрат средств и времени, сложного оборудования.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Целью данной работы является получение фактического материала о литологическом составе и состоянии сульфатно-карбонатной толщи и покрывающих отложений, их затронутости процессами карстования, с оценкой карстовой опасности.

Основными задачами работ являются:

- Макроскопическое (визуальное) изучение образцов горных пород из керна пробуренных скважин и отбор их на минералого-петрографический анализ, в том числе на закарстованных участках;
- Детальное изучение минерального состава пород в шлифах с помощью поляризационного микроскопа;
- Определение минерального состава горных пород с помощью рентгено-фазового анализа;
- Оценка химического состава горных пород и грунтов с помощью рентгено-спектрального анализа;
- Выявление закономерностей в распределении стронция в сульфатно-карбонатной толще с целью оценки и прогнозирования зон активного карстования.

По существующей гипотезе [1,2,3,4,5] в местах активного выщелачивания пород (зонах карстования) количество стронция резко снижается, практически до нуля. Пока это подмечено для гипсоносных пород, в зонах активного развития карста.

СТРОНЦИЙ, ГЕНЕЗИС, РАСПРОСТРАНЕНИЕ



Стронций является геохимическим аналогом кальция. Он накапливается и присутствует в известняках, доломитах, мелах, гипсах и ангидритах, т.е. во всех кальциево-содержащих породах.

Стронций является идеальным трассером кальция.

Изотопный состав стронция всегда несет информацию об источнике кальция.

Чем древнее породы, тем выше отношение $Sr87/Sr86$. Молодые породы характеризуются низким отношением $Sr87/Sr86$.

Стронций накапливается в морских растениях и в живых организмах. При их отмирании он накапливается в кальциево-содержащих породах.

Стронций чаще всего присутствует в горных породах как примесь кальциевых минералов.

МЕТОДИКА МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ



Минералого-петрографические исследования с большой эффективностью могут быть использованы для оценки устойчивости территорий, подверженных опасным геологическим процессам.

Методика минералого-петрографических исследований на инженерно-геологических объектах (Монаково и др).

•Во время буровых работ ведётся полевое описание керна скважин. При этом производится полевое определение пород и их структурно-текстурных особенностей. В это же время производится отбор проб на инженерно-геологические испытания и минералого-петрографический анализ.

•В камеральных условиях из образцов отобранных на минералого-петрографический анализ вырезается алмазной пилой пластина толщиной 2мм для изготовления прозрачного или прозрачно-полированного шлифа. Из двух обрезков образца выбираются: образец на рентгено-спектральный анализ на приборе РЕСПЕКТ и образец на рентгено-фазовый анализ на дифрактометре ARLX'TRA (Швейцария).

РЕНТГЕНО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ



Рентгено-спектральный анализ это раздел аналитической химии, использующий рентгеновские спектры элементов для химического анализа веществ. Рентгено-спектральный анализ по положению и интенсивности линий характеристического спектра позволяет установить качественный и количественный состав вещества и служит для экспрессного неразрушающего контроля состава вещества

Анализ проб будет проведен на рентгено-спектральном приборе «Респект». В камере этого прибора регистрируются элементы Менделеевской системы, начиная с калия до урана. В результате получаем полный спектр элементов от калия до урана с одновременным определением количественного состава вещества в весовых процентах для каждого элемента.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД НА ДИФРАКТОМЕТРЕ ARLX'TRA



Для уточнения минерального состава горных пород применялся рентгенофазовый анализ с помощью прибора - дифрактометра ARLX'TRA.

Метод основан на исследовании дифракции рентгеновского излучения на поликристаллических образцах и расшифровке полученных данных – т.н. дифрактограмм и обладает рядом преимуществ при определении минерального состава горных пород.

Преимущества метода:

- анализ твердых, жидких и порошковых материалов;
- определение и уточнение структуры кристаллов;
- определение типа и %-го содержания глинистых минералов в пробах без предварительной обработки проб (прокаливание, насыщение глицерином и т.д.)

ИЗУЧЕНИЕ ШЛИФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МИКРОСКОПА



Изучение прозрачного и прозрачно-полированного шлифов производится с использованием поляризационного микроскопа (фирмы Цейс) позволяющего определять породообразующие минералы по их кристаллооптическим характеристикам, а также выявлять их структурные особенности. В шлифах при этом производится наблюдение за микротекстурными особенностями пород и их фотографирование.

В результате микроскопического изучения пород удаётся уточнить или исправить название породы, данное при полевом её изучении в период документации керна скважин.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



На территории Нижегородской АЭС породы по результатам минералого-петрографических исследований по происхождению относятся:

- к сохранившим первичные седиментационные текстурно-структурные особенности и минеральный состав. К ним относятся раковинно-детритовые известняки, микрозернистые доломиты, кремни, глины, алевролиты, песчаники;
- к частично или полностью утратившим первично седиментационные минералого-петрографические особенности и претерпевшие частичное или полное перерождение в стадии катагенеза. К ним относятся метасоматические гипсы, микрозернистые известняки, известняки доломитизированные, доломиты мелкозернистые, глины огипсованные, алевролиты глинистые огипсованные, доломиты огипсованные, песчаники и алевролиты с гипсовым пойкилитовым цементом.

Процесс огипсования пород в изученной толще шёл под воздействием нефтяных вод, насыщенных сероводородом, по следующей схеме. Минералы железа (окисные и гидроокисные), присутствующие в породах толщи и придающие им красноцветную окраску, вступали во взаимодействие с сероводородом с образованием сульфидов железа. Часть сероводорода окислялась до состояния серной кислоты, вступавшей во взаимодействие с карбонатными минералами кальция (кальцитом и доломитом), что приводило к формированию катагенетического гипса метасоматическим путём. Сульфиды железа, сформировавшиеся в породах, придавали им серую окраску.

В последствии в зоне гипергенеза толща пород промывалась вадозными водами, богатыми кислородом, который вступал во взаимодействие с сульфидами железа с образованием серной кислоты и гидроокисных минералов железа, придавшим породам вторичное красноцветное окрашивание, а серная кислота способствовала развитию карста по гипсовым породам.

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Академик Швецов М.С. изучил этот процесс по разрезам верхнепермских отложений Нижегородской области в первой половине прошлого века, назвав их «вторичными красноцветами».

На площадке проектируемой Нижегородской АЭС и прилегающей территории были проведены лабораторные минералого-петрографические исследования 500 образцов.

По результатам минералого-петрографических анализа этих образцов получены следующие результаты:

- все гипсы образованы метасоматическим путем.
- среди сульфатных пород не обнаружен минерал - ангидрит;
- экстремально низкое содержание стронция в гипсах показывает места повышенной активности карстового процесса.

Ниже приведены микрофотографии образцов гипса из скважин 2Д и 3Д, и образец из обнажения провала № 455.

Рентгено-спектральный анализ показал повышенное содержание стронция в образцах отображенных на Рис.1, Рис.3 и незначительное содержание стронция в образцах на Рис.2, Рис.4, что указывает на зоны активного карстования в скважине 2Д и в месте образования провала № 455.

Таким образом, актуальность исследования минералого-петрографического строения карстующихся и покрывающих отложений с целью оценки и прогноза устойчивости закарстованной территории является несомненной.

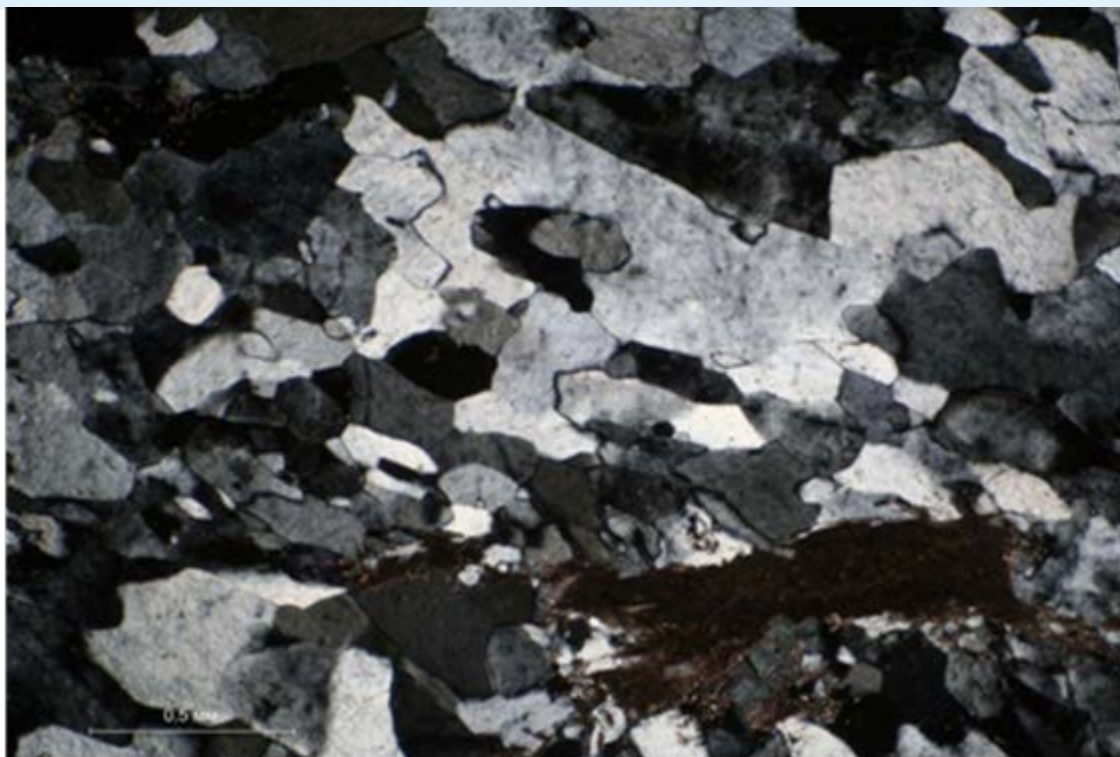


Рис.1

Проектируемая площадка Нижегородской АЭС. Энеоргблоки №№ 1, 2.

Скважина 2-Д, глубина отбора образца 60,5 м

Гипс среднезернистый.

Основу породы составляет агрегат зёрен гипса призматической формы размером от 0,05 до 2,0 мм. В породе отмечен реликт микрозернистого доломита, являющегося материнской породой, за счёт замещения которой метасоматическим путём развился гипс.

Рентгенодифрактометрический анализ образца показал наличие в нём минералов: гипса и доломита. Рентгеноспектральный анализ образца показал повышенное содержание в нём стронция.

Рентгеноспектральный анализ

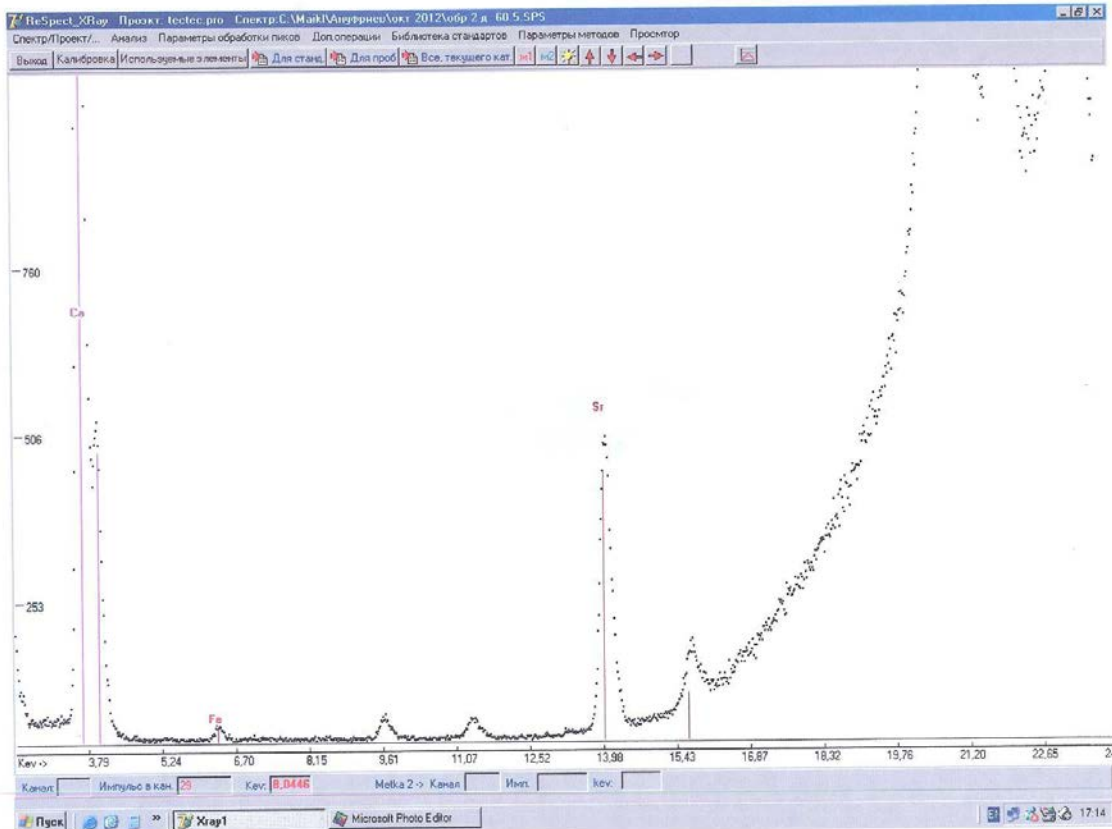


Рисунок 1а

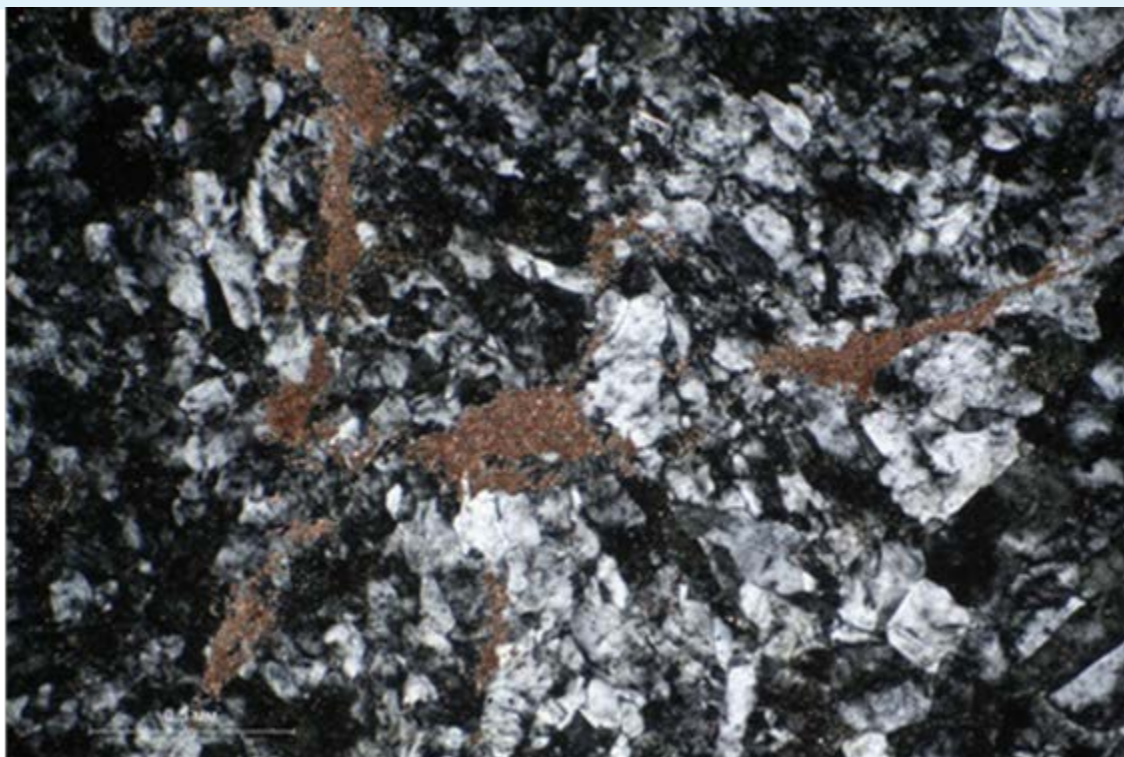


Рис.2

Проектируемая площадка Нижегородской АЭС. Энеоргоблоки №№ 1, 2.

Скважина 2-Д, глубина отбора образца 65,5 м

Гипс среднезернистый

Основу породы составляет агрегат призматических зёрен гипса размером от 0,05 до 2 мм.

В породе присутствуют реликты материнской породы - глины хлорит-гидрослюдистой доломитистой, содержащей примесь алевритовых зёрен кварца.

Рентгенодифрактометрический анализ образца показал наличие в нём минералов: гипса, доломита, кварца, хлорита, слюды, кристобалита.

Рентгеноспектральный анализ показал небольшое содержание стронция.

Рентгеноспектральный анализ

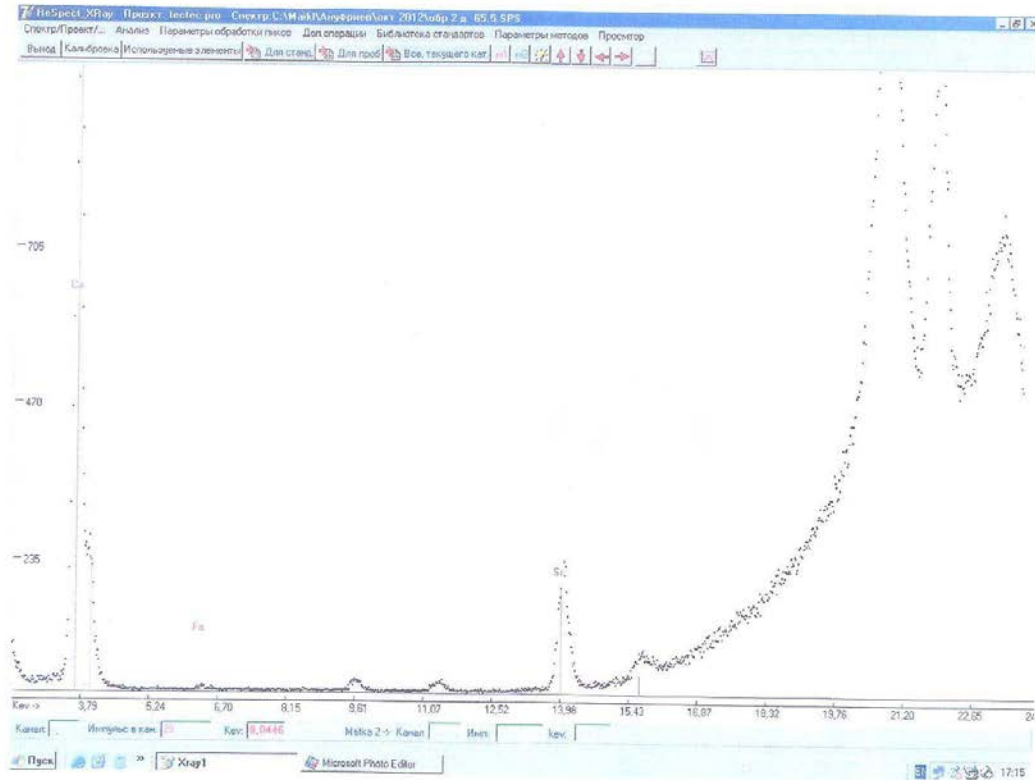


Рисунок 2а

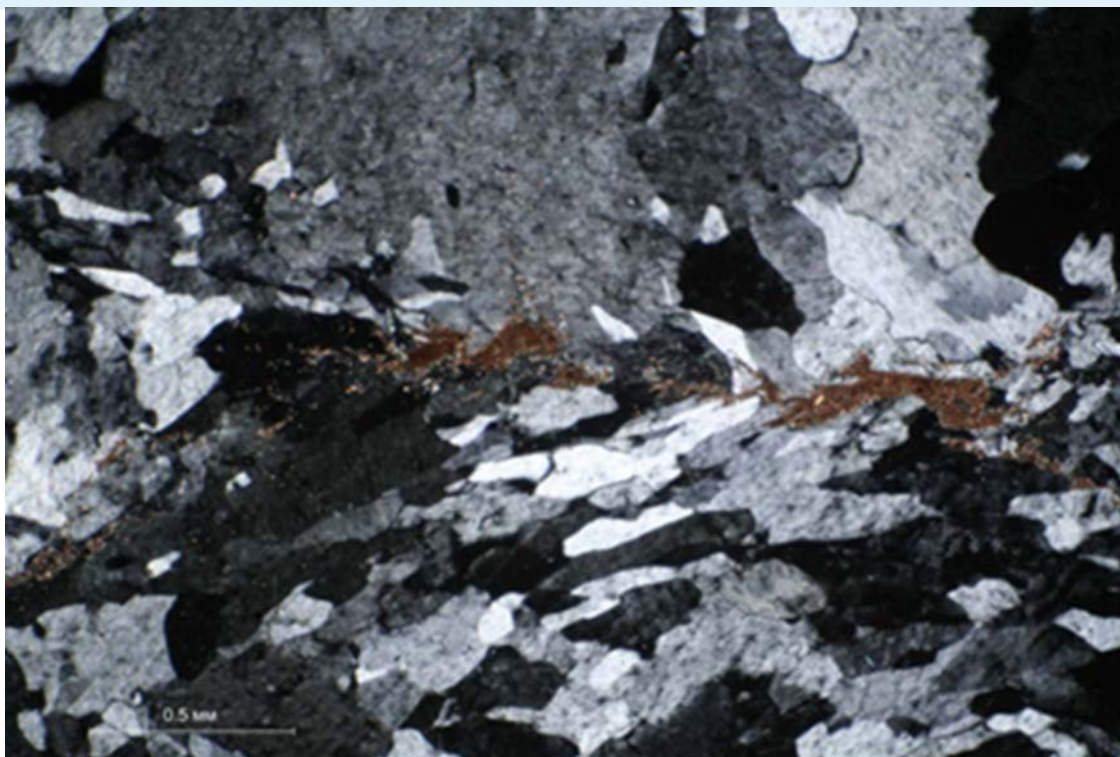


Рис.3

Проектируемая площадка Нижегородской АЭС. Энергоблоки №№ 1, 2.

Скважина 3-Д глубина отбора образца 49,5 м

Гипс среднезернистый глинистый.

Основу породы составляет агрегат зёрен гипса лапчатой и призматической форм с размером зёрен 1-3мм. В нём отмечены реликты материнской породы, по которой он развился метасоматическим путём, глины – хлорит-гидросланцеватой доломитистой с включениями призматических зёрен гипса.

В основной гипсовой массе породы присутствуют зёрна целестина размером до 0,05мм в поперечнике.

Рентгенодифрактометрический анализ показал наличие в образце минералов гипса и целестина.

Рентгеноспектральный анализ показал повышенное содержание стронция.

Рентгеноспектральный анализ

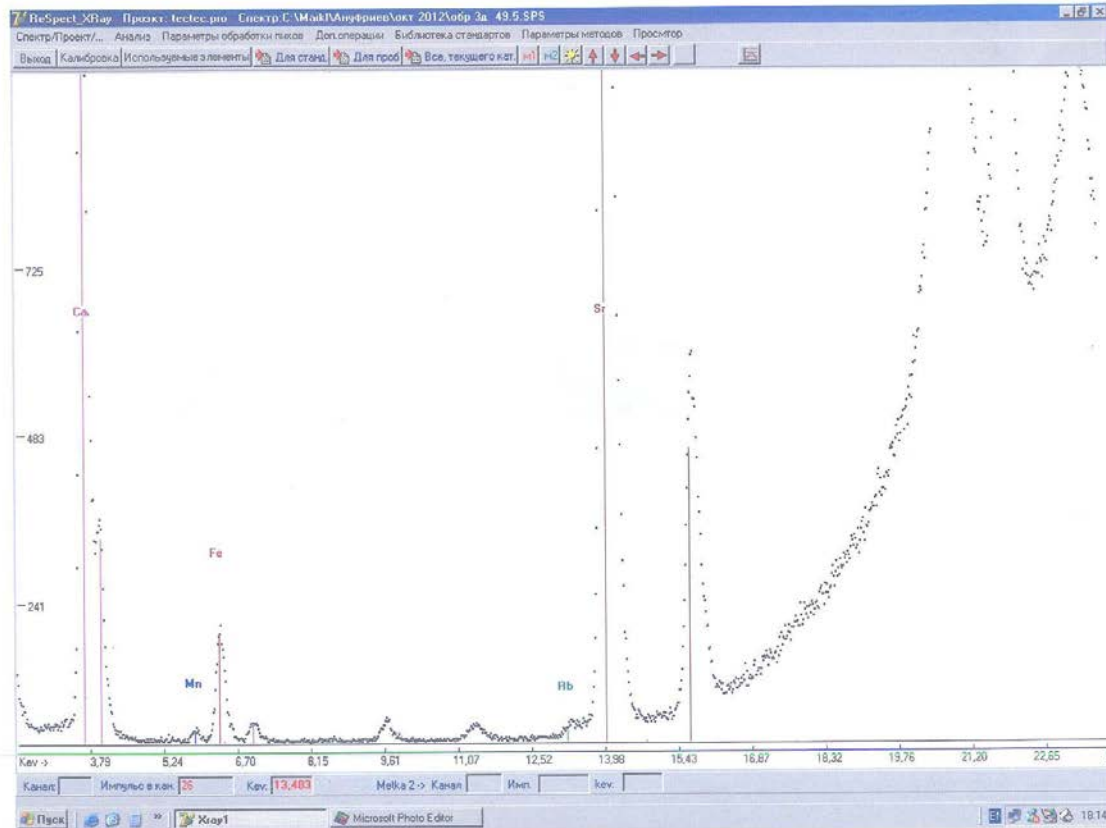


Рисунок 3а

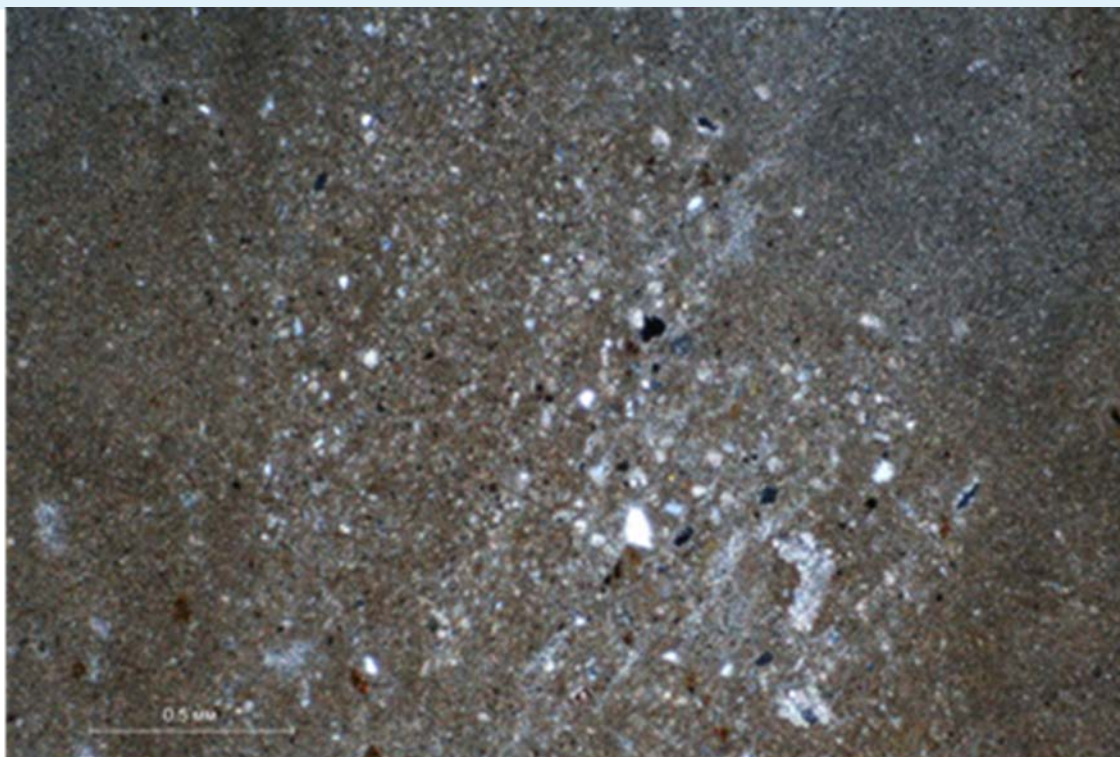


Рис.4

Проектируемая площадка Нижегородской АЭС. Энеорглобки №№ 1, 2.

Провал №455, глубина отбора образца 4,0 м

Доломит алевритистый

Основу породы составляет агрегат зёрен доломита мелко- и микрозернистой размерности. В доломите присутствует примесь зёрен кварца крупноалевритовой размерности.

Рентгенодифрактометрический анализ образца показал наличие в нём минералов: доломита, кристаболита, кварца.

Рентгеноспектральный анализ показал наличие незначительного количества стронция.

Рентгеноспектральный анализ

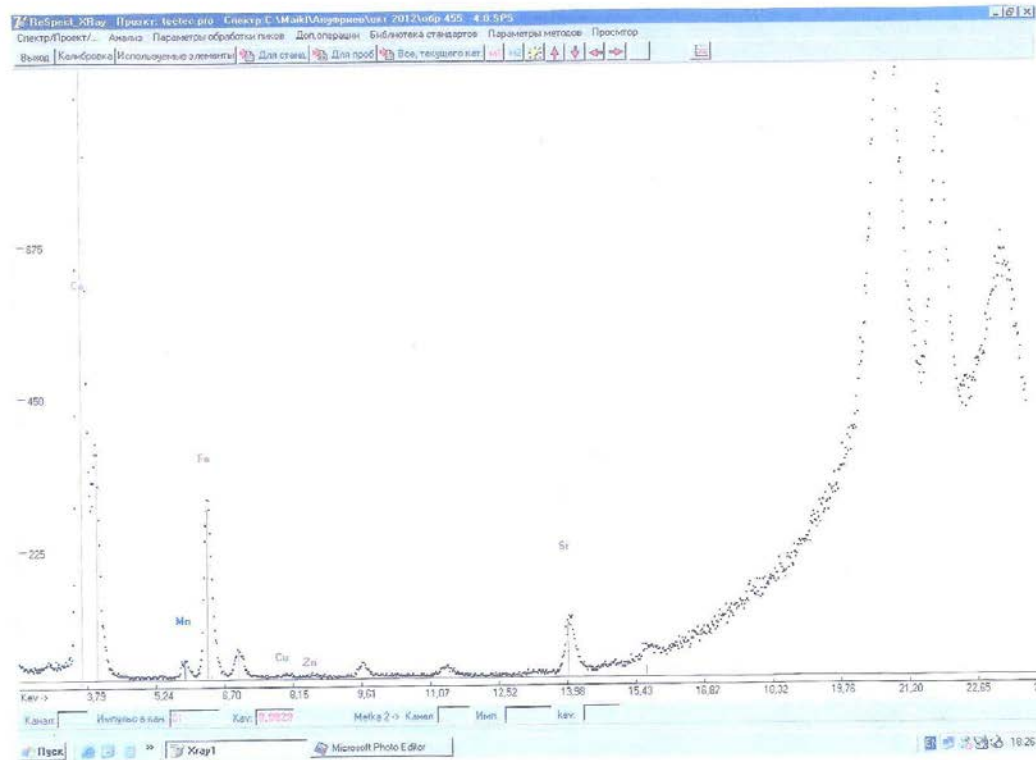


Рисунок 4а

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



В меловых породах на площадке Курской АЭС по результатам спектрального анализа на приборе «Респект» четко выделяются на графиках два пика по содержанию кальция и стронция во всех без исключения меловых породах. Во всех исследуемых образцах мела (124 образца) фиксируется относительно высокое содержание стронция, т.е. по этому показателю зоны активного растворения мела на изучаемой территории отсутствуют. Поверхностных карстовых и карстово-суффозионных форм на территории исследования площадью 300 км² не обнаружено.

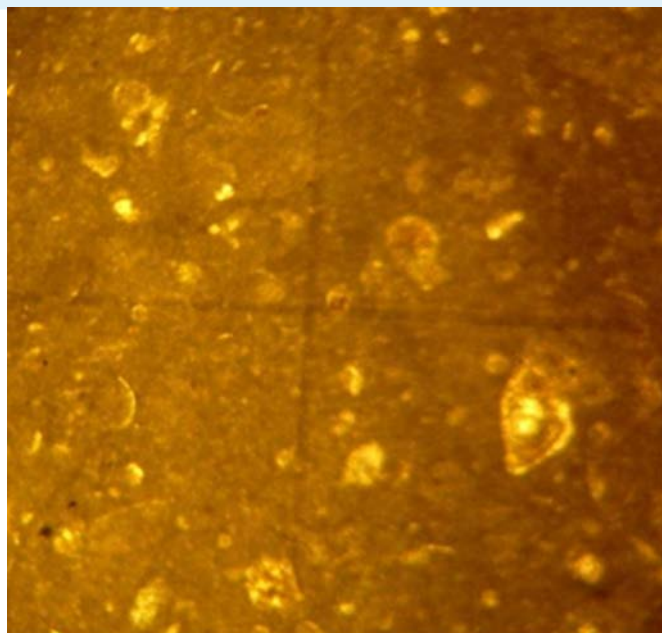


Рисунок 5

Площадка Курской АЭС-2. Шлиф 3. скв.6П. Глубина 11,0-11,1 м.
Пишущий мел из пелитоморфного (порошковатого) кальцита с раковинами мелких фораминифер. Николи II. Увеличение 100x

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА



Результаты рентгенофазового анализа:

Минеральный состав, %			
Кальцит	Полевые шпаты, альбит	Полевые шпаты, ортоклаз	Кварц
95.9	1.9	1.6	0.6

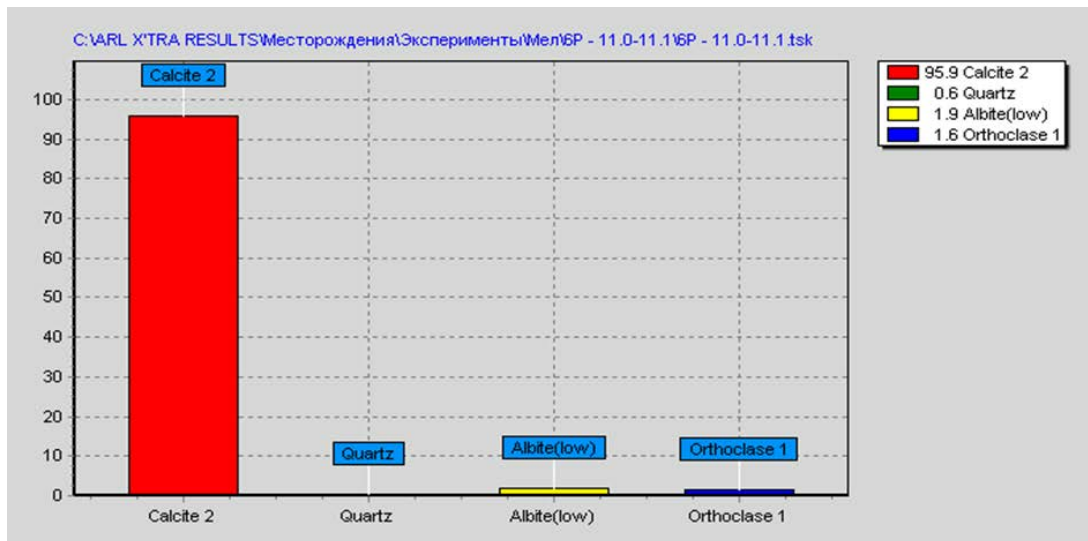
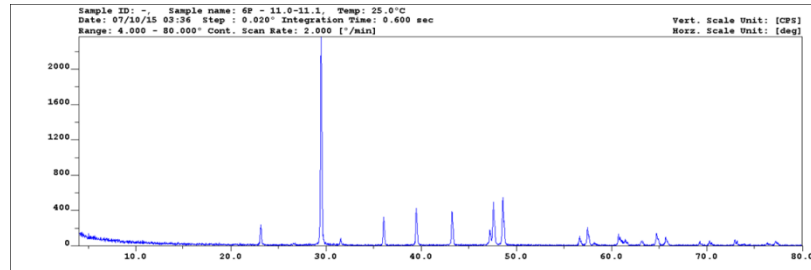


Рисунок 5.1. Скважина 6П, образец 2, глубина 11,0-11,1 м.

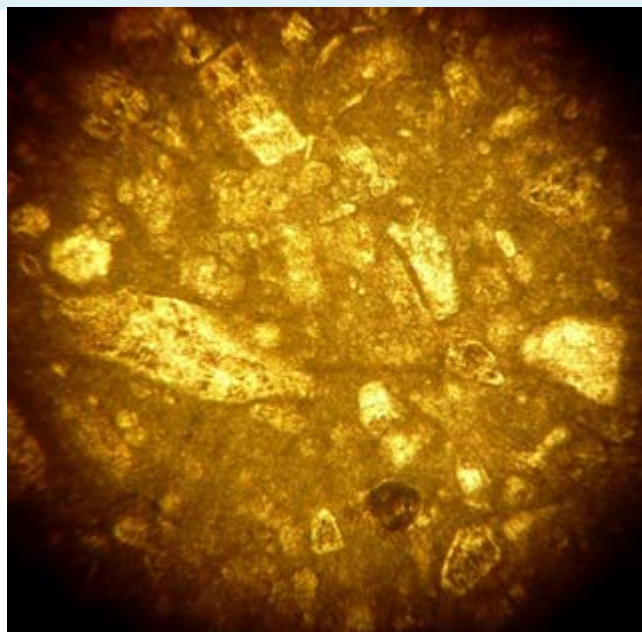


Рисунок 6

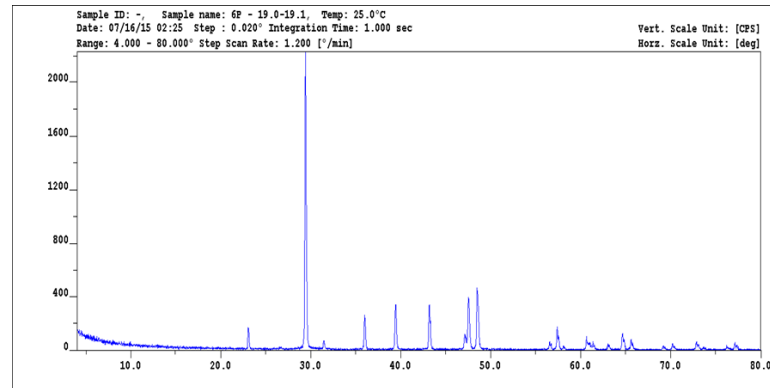
Площадка Курской АЭС-2. Шлиф 7.скв.6П. Глубина 19,0-19,1м.

Мел глинистый, неразмокающий в воде, существенно
иноцерамовый, с редкими зернами кварца. Николи +. Увеличение
100^x

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА



Зарегистрированная дифрактограмма пробы:



Минеральный состав, %				
Кальцит	Полевые шпаты, альбит	Полевые шпаты, ортоклаз	Кварц	Циркон
97.7	1.0	0.8	0.5	0.1

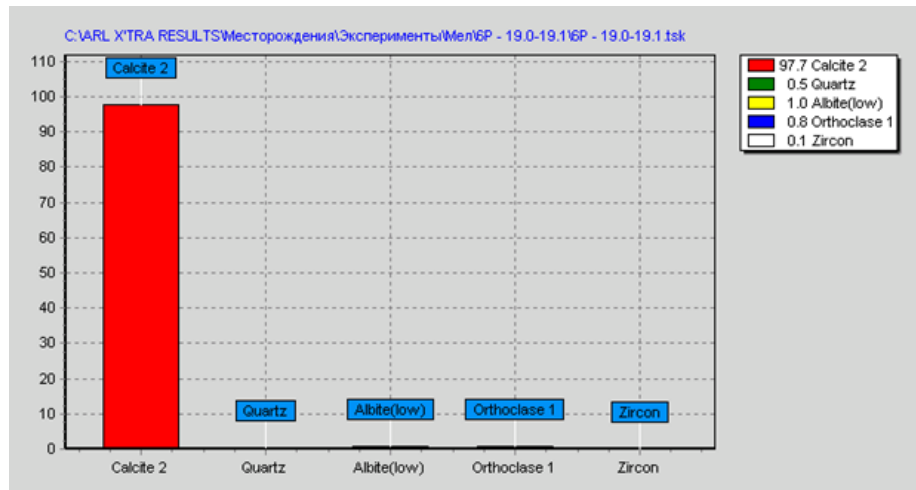


Рисунок 6.1. Сквжина 6П, образец 6, глубина 19,0-19,1 м.

Рентгеноспектральный анализ

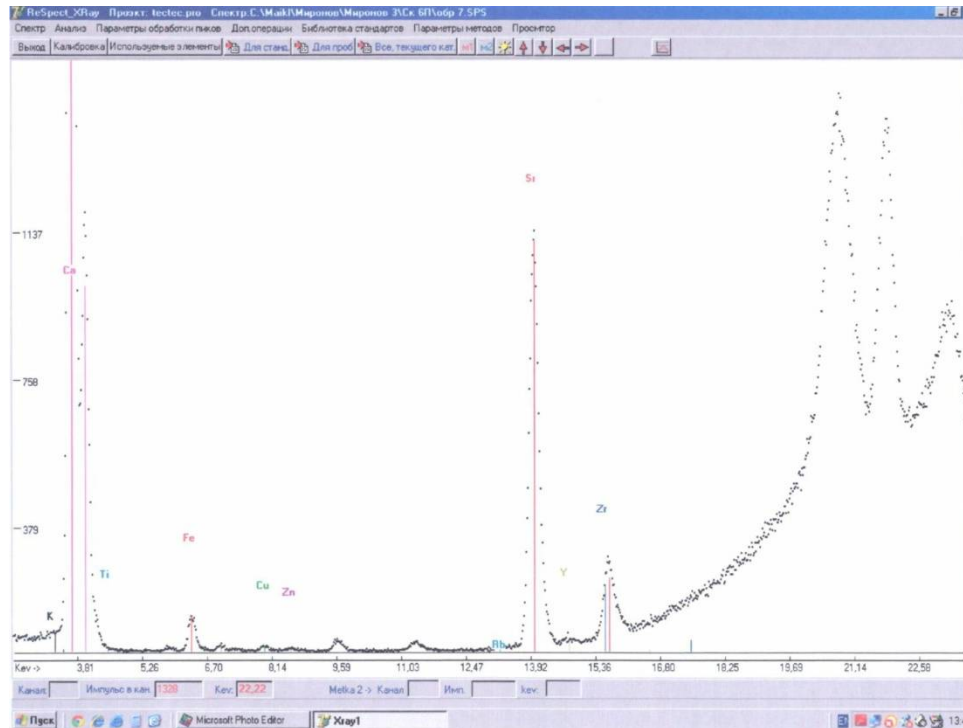


Рисунок 6.2. Скважина 6П, образец 6, глубина 19,0-19,1 м.

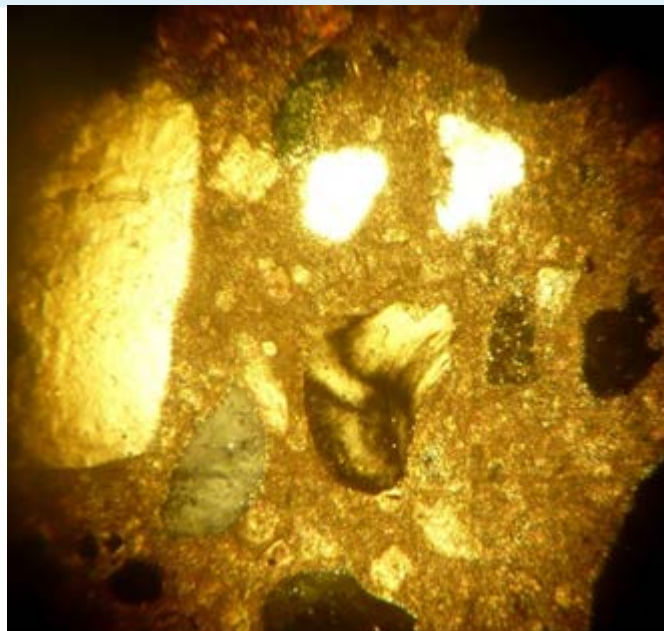


Рис.7

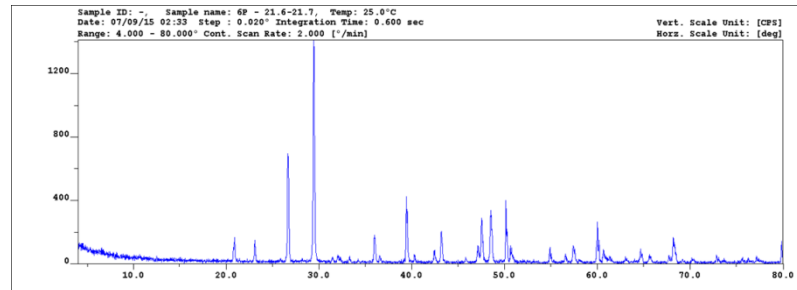
Площадка Курской АЭС-2. Шлиф 8. скв. 6П. Глубина 21,6-21,7м.
Мел песчанистый («сурка»), в воде не размокает. Включает зерна
кварца, фосфатные костные остатки (в центре) и глауконит. Николи +.
Увеличение 100^x

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА



Зарегистрированная дифрактограмма пробы:

Результаты рентгенофазового анализа



Минеральный состав, %						
Кальцит	Кварц	Полевые шпаты, альбит	Апатит	Сидерит	Полевые шпаты, ортоклаз	Андрадит
68.4	25.2	2.5	2.0	1.0	0.6	0.1

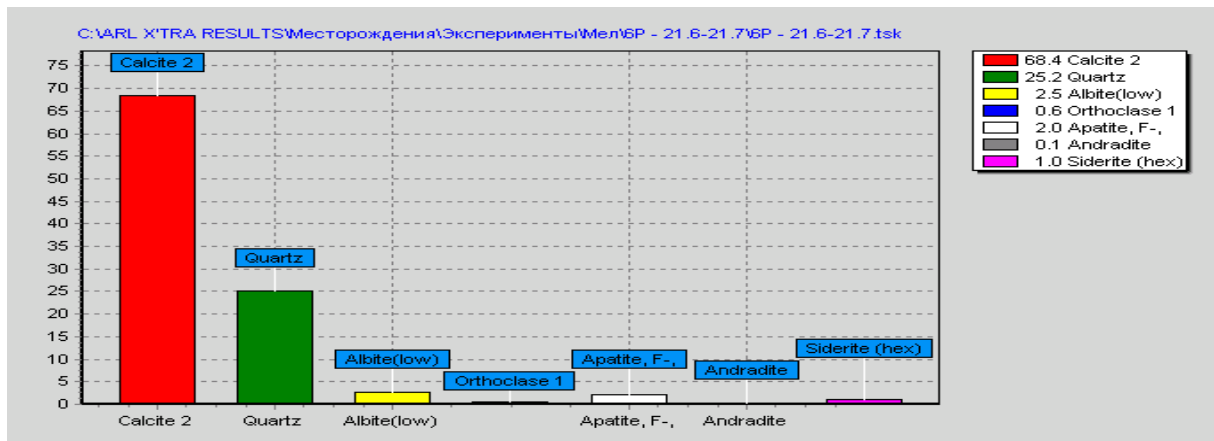


Рисунок 7.1. Сквжина 6П, образец 8, глубина 21,6-21,7 м.

Рентгеноспектральный анализ

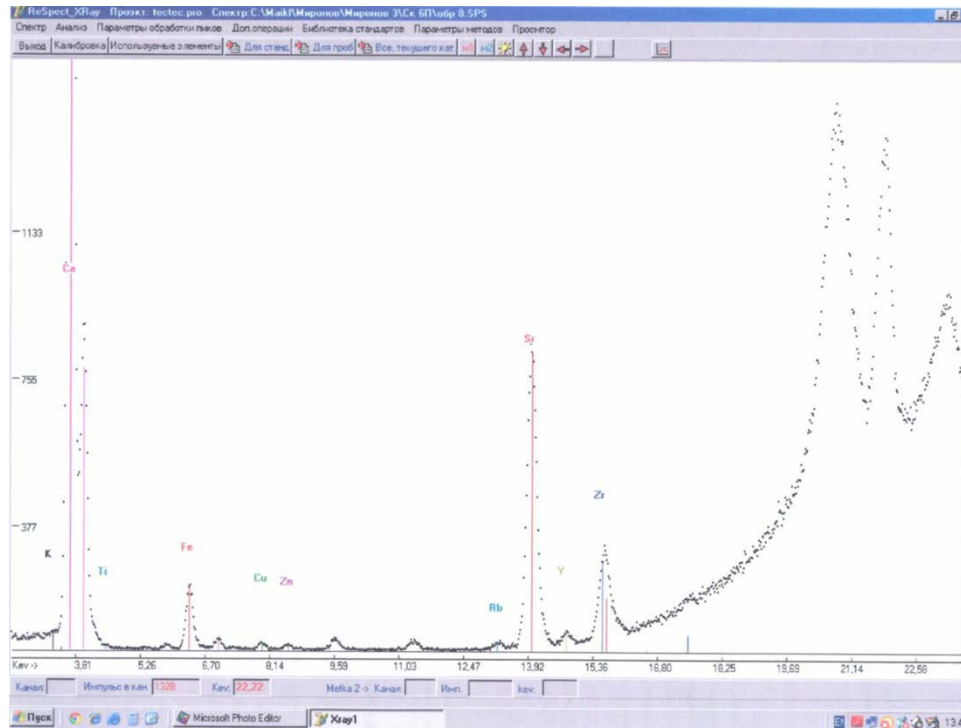


Рисунок 7.2. Скважина 6П, образец 8, глубина 21,6-21,7 м.

ВЫВОДЫ



Резюмируя все вышеизложенное можно сделать следующие выводы.

Минералого-петрографические исследования дают богатый фактический материал о литологическом составе и состоянии горных пород и позволяют выяснить, уточнить или исправить:

- название породы;
- генезис породы;
- комплекс минералов, присутствующих в породе;
- весовое содержание каждого элемента породы, в т.ч. стронция, обладающего высокой миграционной способностью;
- экстремально низкое содержание стронция в гипсах показывает места повышенной активности карстового процесса;
- относительно высокое содержание стронция в растворимых породах показывает отсутствие зон активного развития карста.

Минералого-петрографические исследования с большой эффективностью могут быть использованы для оценки устойчивости территорий, подверженных опасным геологическим процессам.