

Изменение вулканогенных пород
Кошелёвского вулкана (Ю. Камчатка)
под воздействием гидротермальных процессов
(по экспериментальным данным)

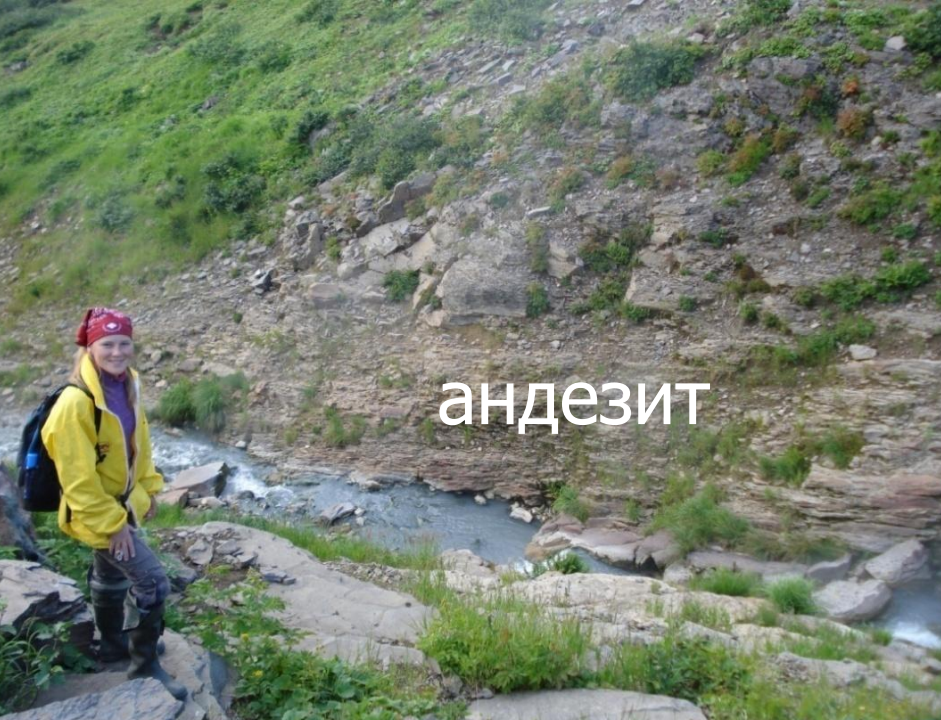
В.В. Шанина¹, К.М. Герке², А.Ю. Бычков¹, Д.В. Корост¹

- **Цель работы** установление закономерностей изменения состава, строения и свойств андезитов и базальтов Кошелеевского вулкана под воздействием гидротермальных процессов.
- **Задачи:** проведение лабораторных экспериментов и натурных исследований при различных температурах, давлениях и составах растворов, подготовка образцов, изучение химического и минерального состава, строения, состояния и свойств вулканогенных пород до и после экспериментов.



Расположение электростанций на территории Камчатского края (Дмитриев Г.С., 2006)

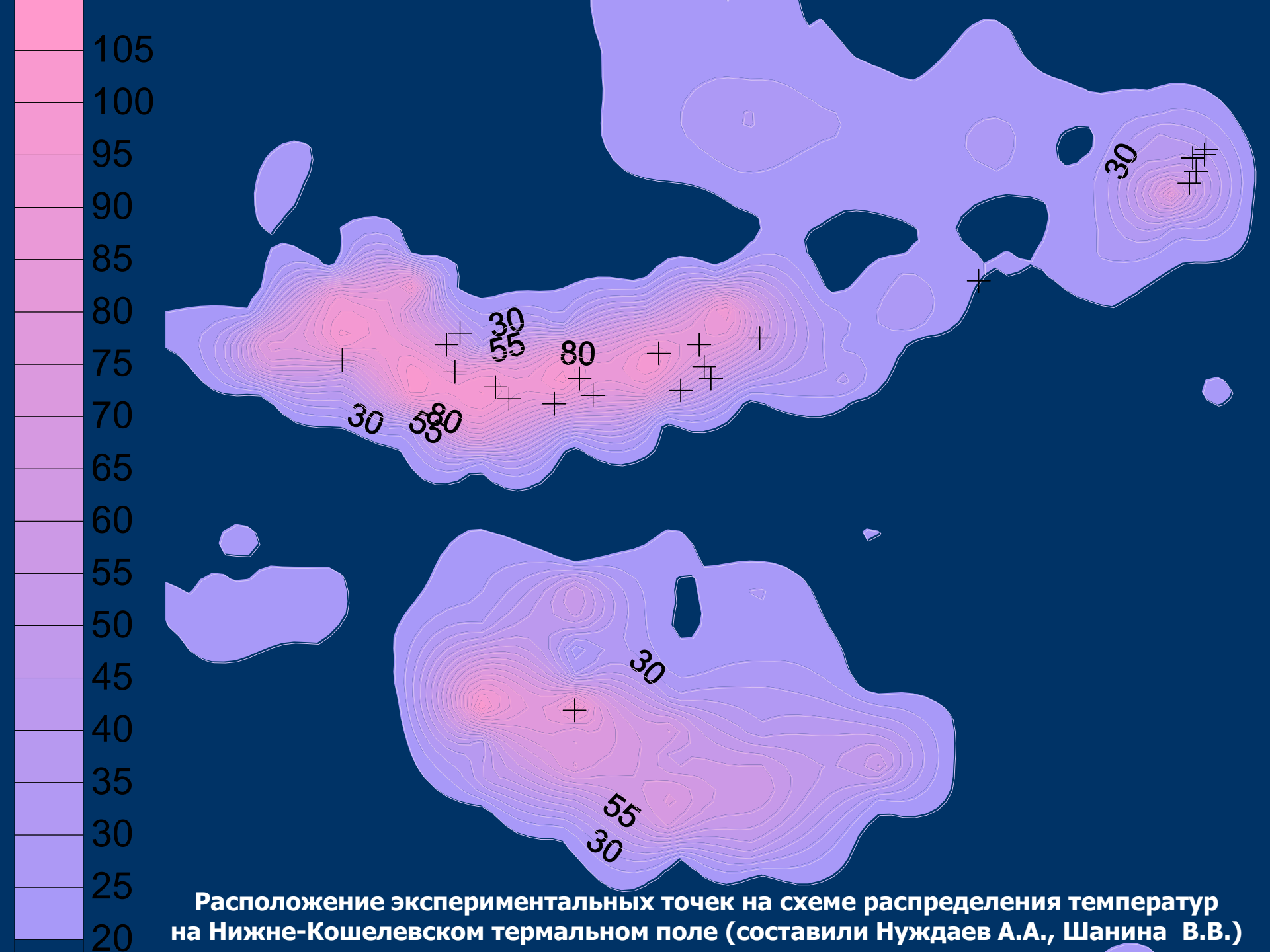
Нижне-Кошелевское термальное поле



андезит



базальт



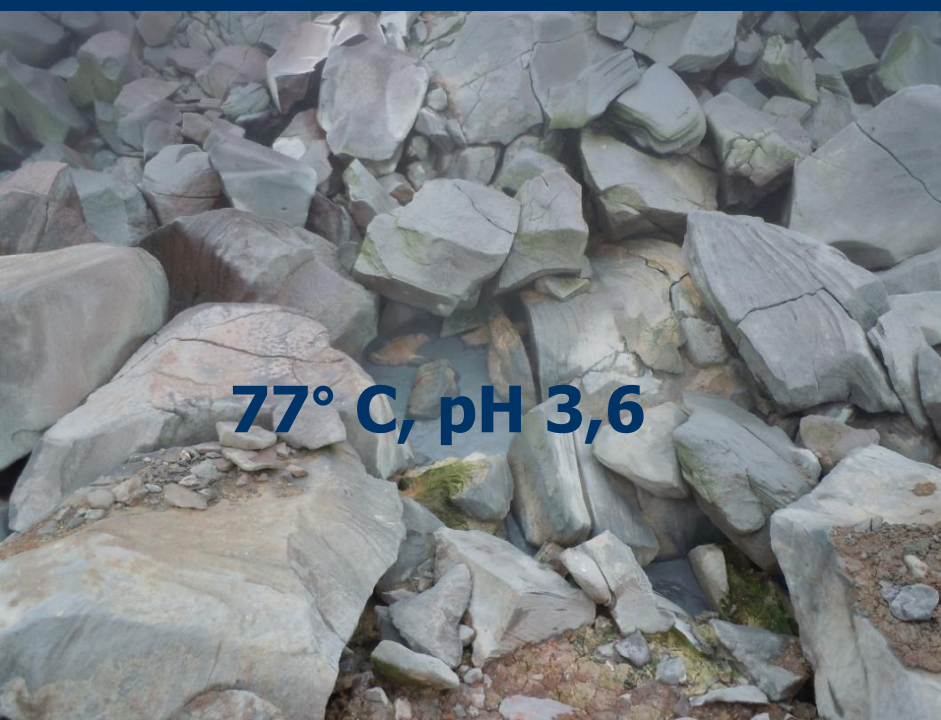
Расположение экспериментальных точек на схеме распределения температур на Нижне-Кошелевском термальном поле (составили Нуждаев А.А., Шанина В.В.)



94° C, pH 2,8



87° C, pH 6,5

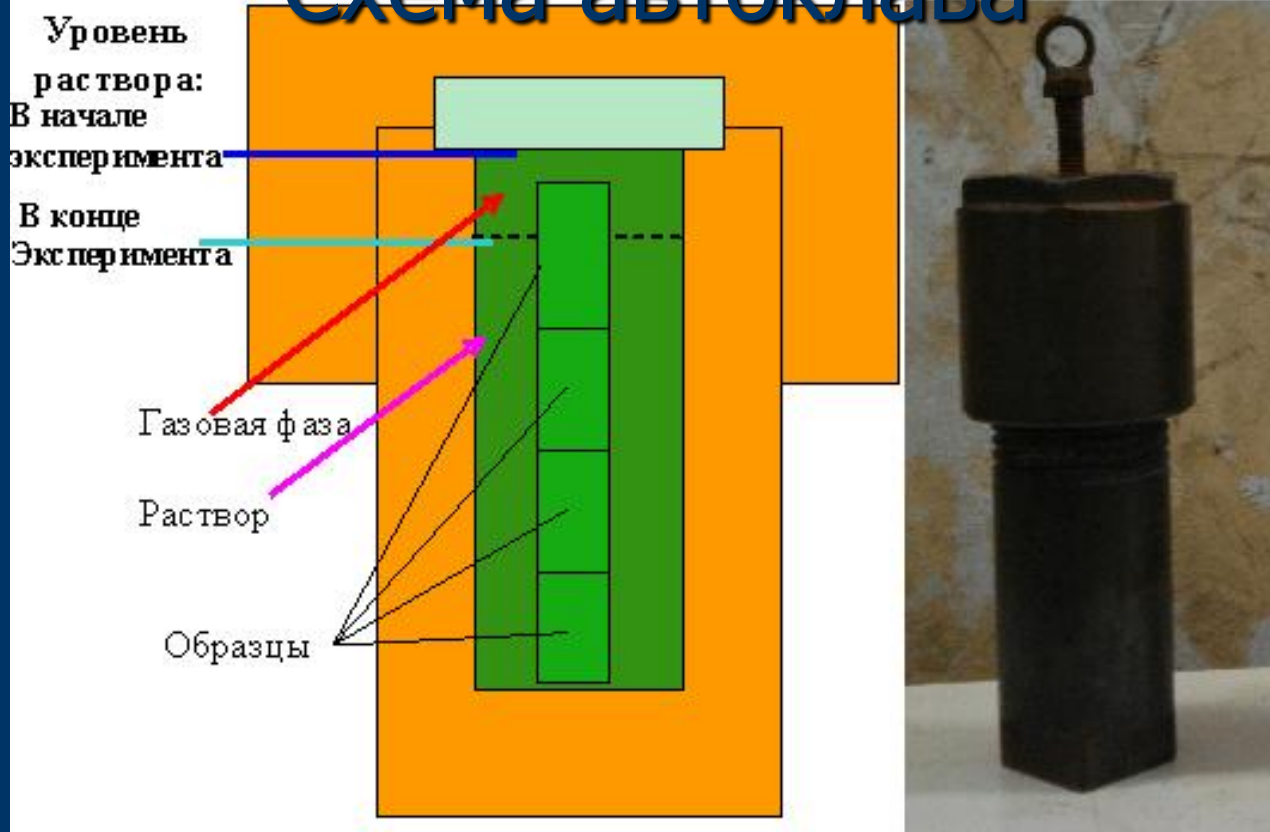


77° C, pH 3,6



52° C, pH 6,9

Схема автоклава

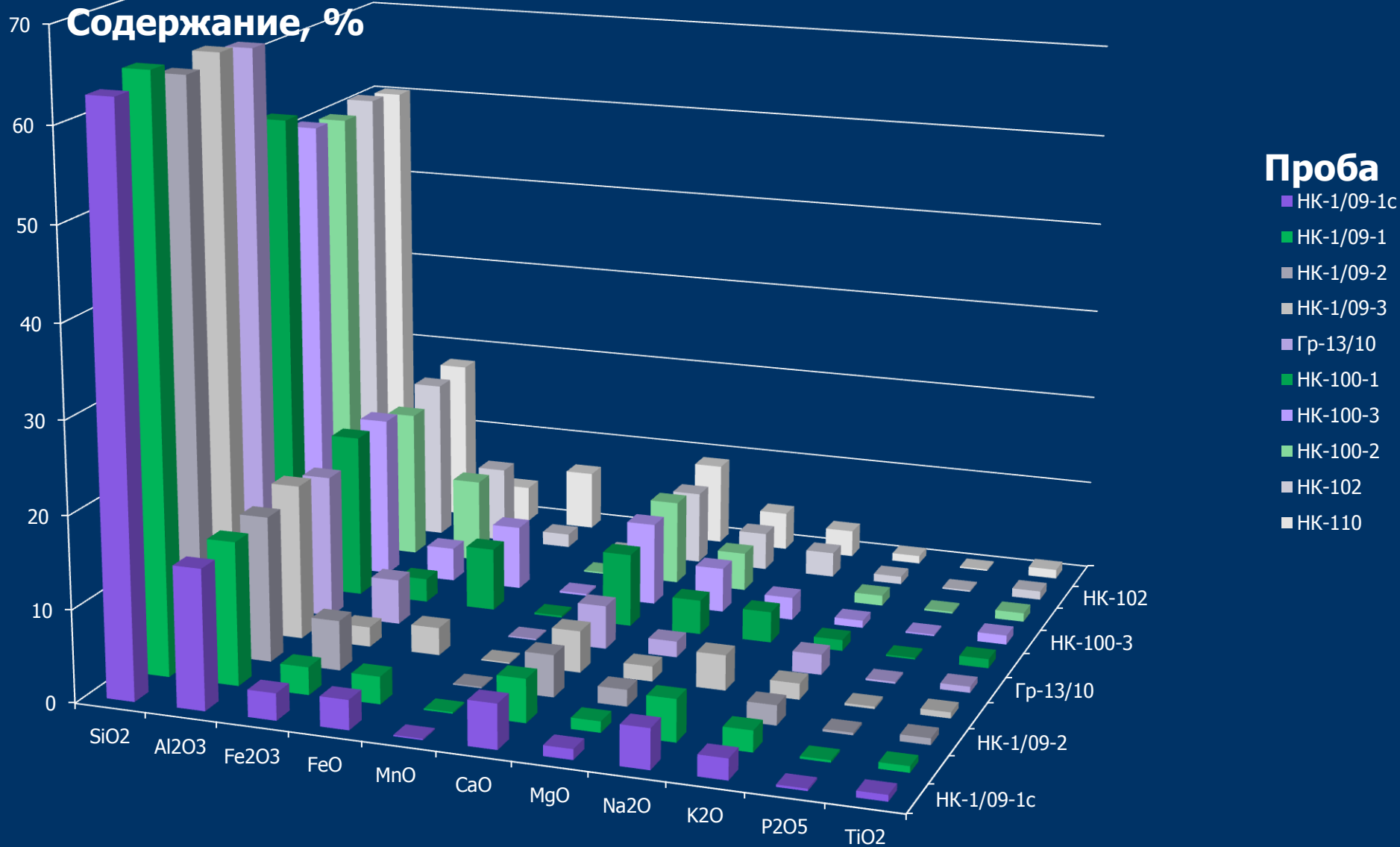


Состав растворов для лабораторных экспериментов ($T=300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=86\text{ бар}$, длительность 30 суток)

Раствор	Концентрация вещества, г/л			CO_2 , моль/кг
	NaCl	NaHCO_3	K_2SO_4	
Щелочной	0,499	0,142	0,068	-
Кислый	0,499	0,142	0,068	5,5

Раствор	pH	ppt, г/л	Концентрация, мкг/л								
			Mg	Al	P	Ca	Fe	Cu	Zn	Ba	Sr
НК-2	6,4	0,1	1856	108	174	10116	116	2,2	10,7	9,5	37

Химический состав андезитов и базальтов Кошелёвского вулкана по результатам силикатного анализа (аналитики В.М. Рагулина, Н.А. Соловьёва, Н.И. Чеброва, В.В. Шанина, М.П. Юкина)

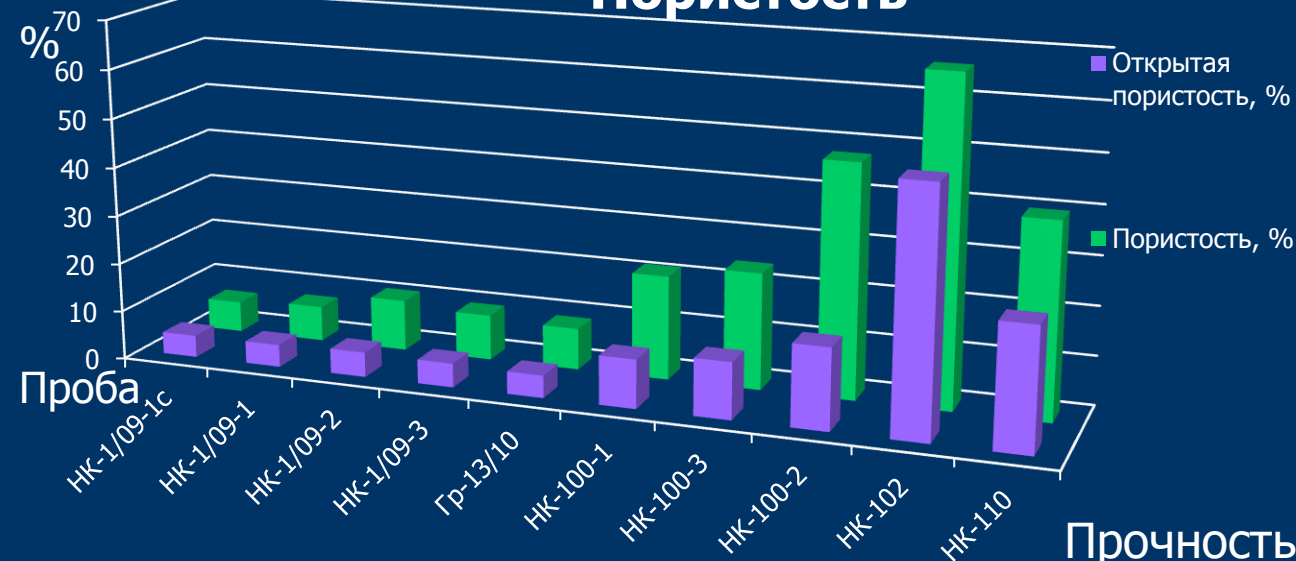


Физические и физико-механические свойства исходных пород Кошелевского вулкана

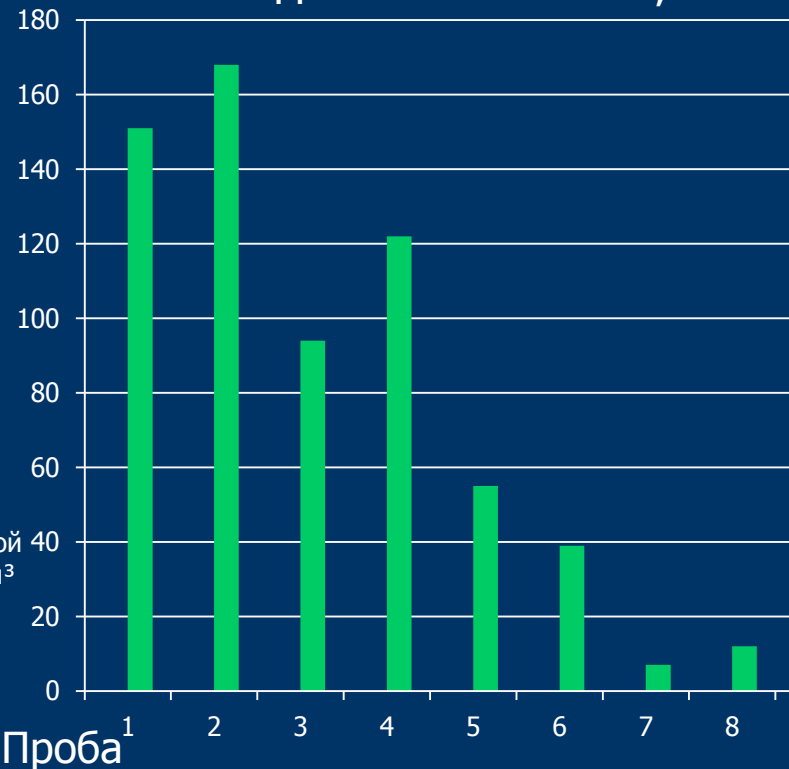
Проба (количество образцов)	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	n, %	n_o , %	W_g , %	W_B , %	V_p , км/с	V_{pB} , км/с	V_s , км/с	μ	Ед, ГПа	R_c , МПа	$\chi * 10^{-3}$ СИ
НК-1/09-1с (32)	2,51	2,68	6,3	4,5	0,1	1,8	4,10	4,95	2,30	0,18	37,1	151	28,3
НК-1/09-1 (16)	2,50	2,69	7,2	4,6	0,2	1,8	3,95	5,05	2,30	0,23	34,9	168	29,4
НК-1/09-2 (18)	2,47	2,76	10,5	5,1	0,4	2,1	4,05	4,90	2,50	0,16	35,8	94	23,2
НК-1/09-3 (9)	2,45	2,70	9,3	4,9	0,3	2,0	3,85	4,95	2,25	0,23	31,9	122	25,0
Гр-13/10 (2)	2,42	2,64	8,5	4,6	0,1	1,9	4,35	4,65	2,50	0,26	42,1		27,6
НК-100-1 (37)	2,25	2,86	21,3	10,0	0,5	4,5	4,15	5,15	2,40	0,24	32,2	55	41,2
НК-100-3 (27)	2,23	2,93	23,8	11,6	0,4	5,2	4,05	5,15	2,35	0,26	29,6	39	49,0
НК-100-2 (7)	1,51	2,87	47,5	16,6	0,5	11,0	3,30	4,10	2,05	0,17	15,0		32,2
НК-102 (38)	0,97	2,87	66,2	49,7	0,5	51,4	2,75	2,65	1,65	0,16	6,6	7	10,1
НК-110 (12)	1,73	2,86	39,6	25,0	0,6	14,5	2,65	3,40	2,00	0,25	11,1	12	52,7

Примечание: ρ - плотность, г/см³; ρ_s - плотность твердой компоненты, г/см³; n – пористость, %; n_o – открытая пористость, %; W_g – гигроскопическая влажность, %; W_B – водопоглощение, %; V_p и V_{pB} – скорость прохождения продольных волн в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, км/с; V_s – скорость прохождения поперечных волн, км/с; μ – коэффициент Пуассона; Ед – динамический модуль упругости, ГПа R_c - прочность на одноосное сжатие, МПа; $\chi * 10^{-3}$ - магнитная восприимчивость, ед. СИ.

Пористость



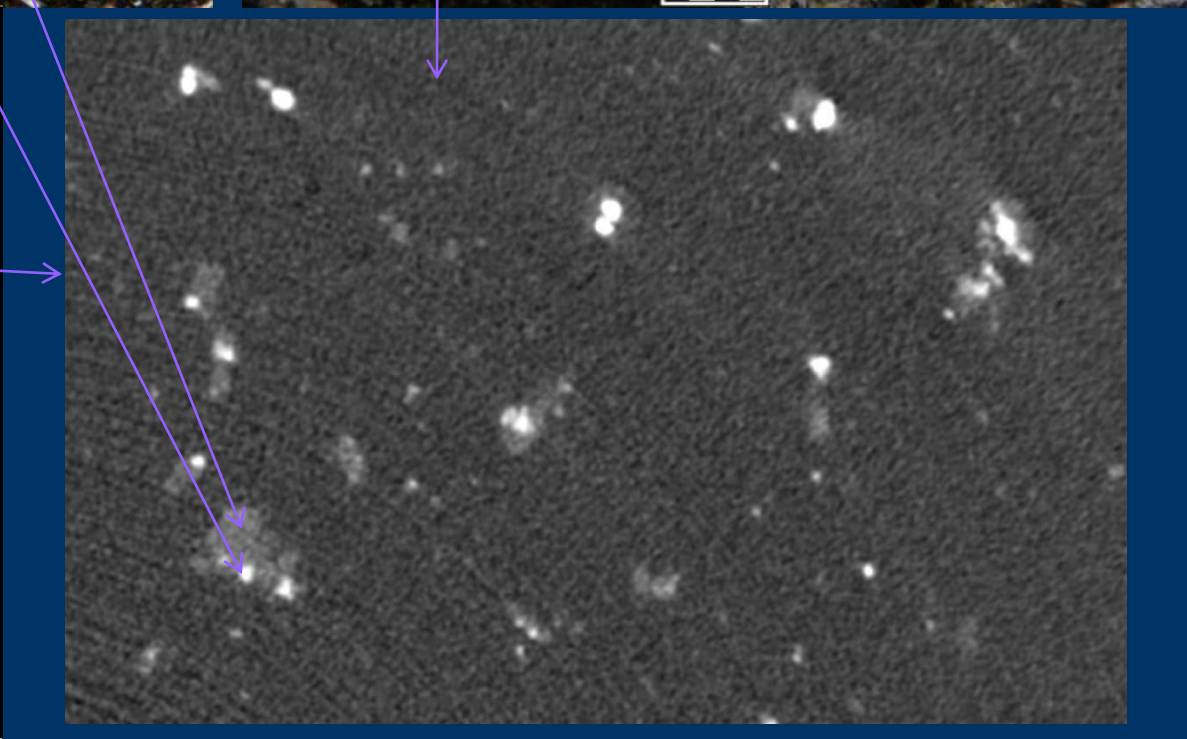
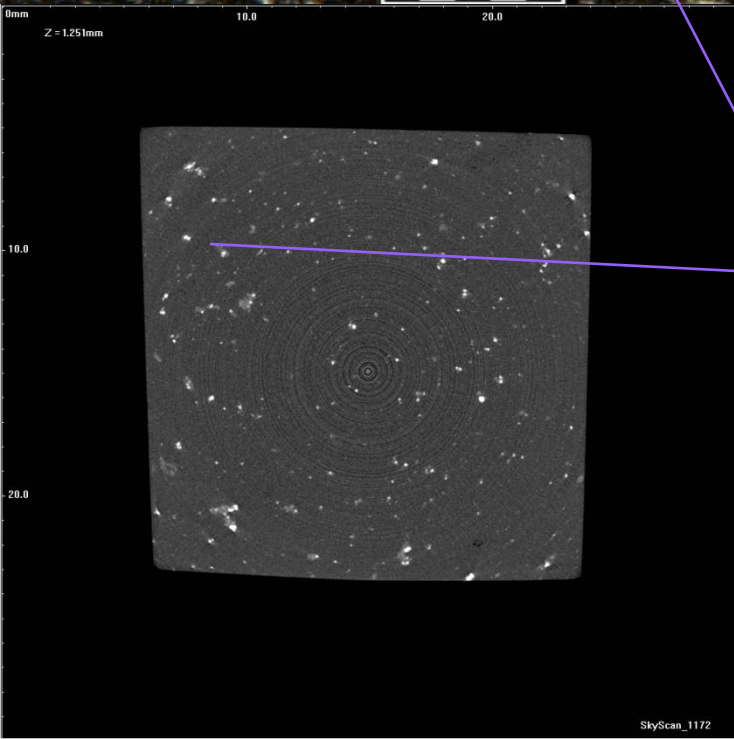
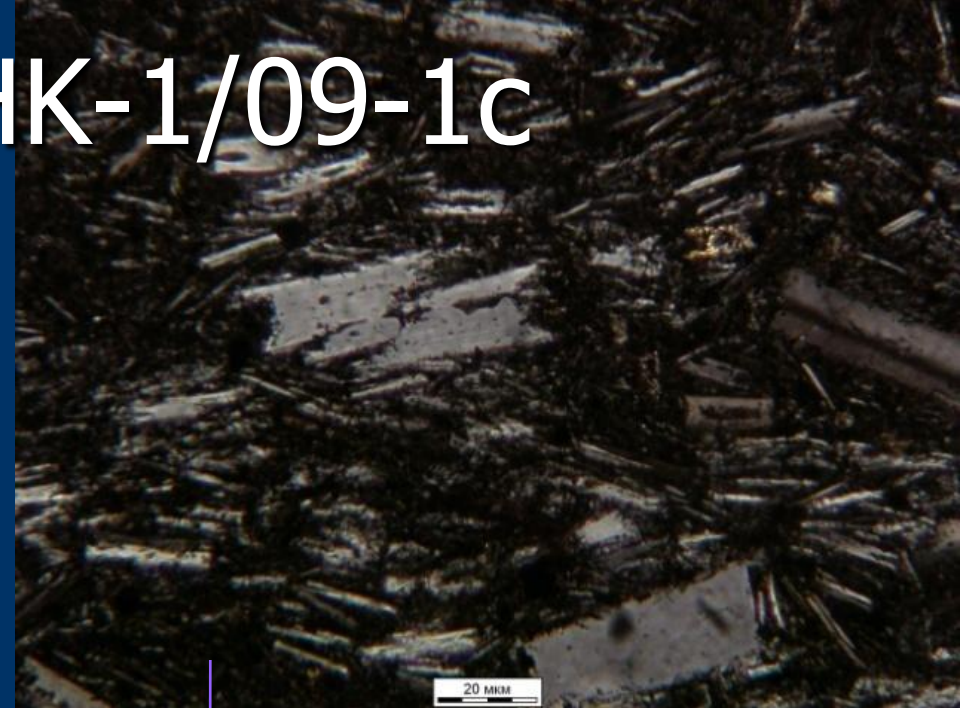
Прочность на одноосное сжатие, МПа



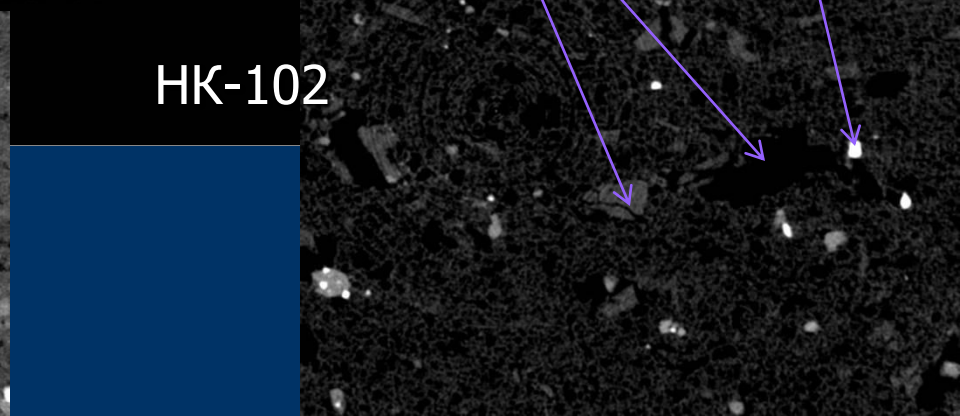
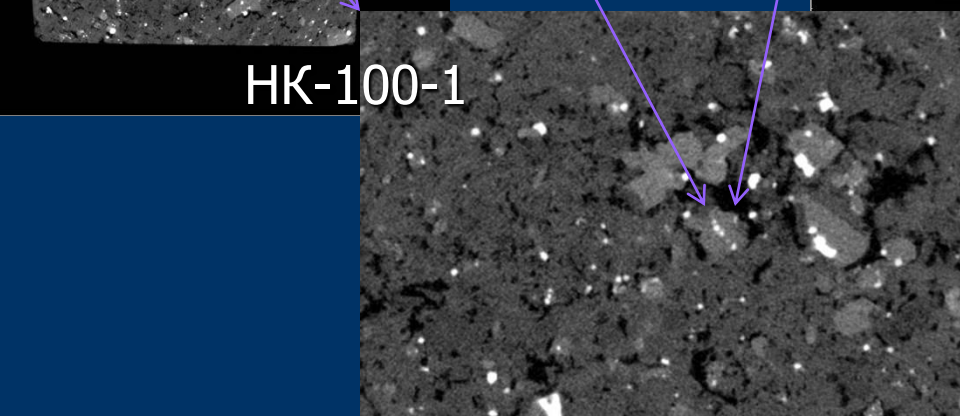
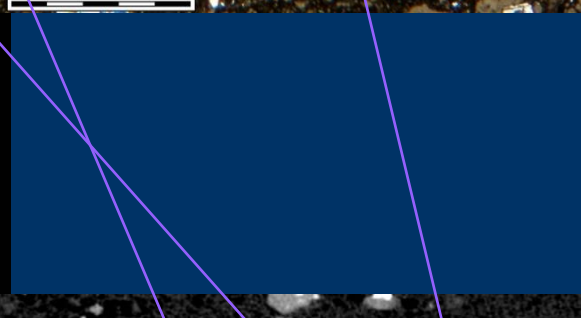
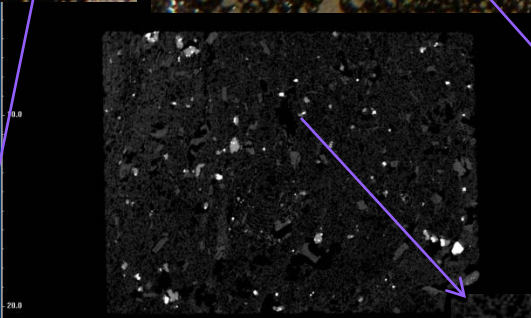
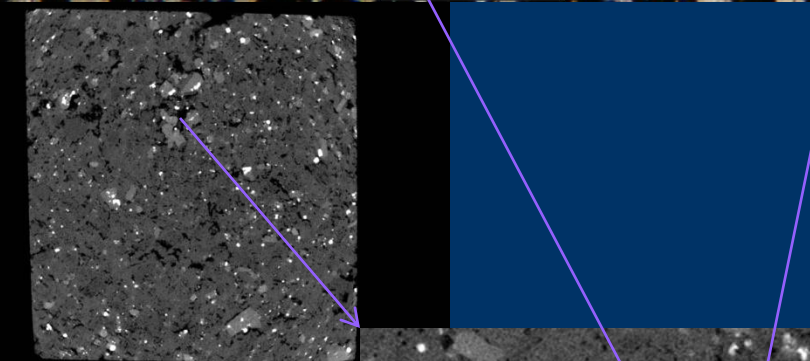
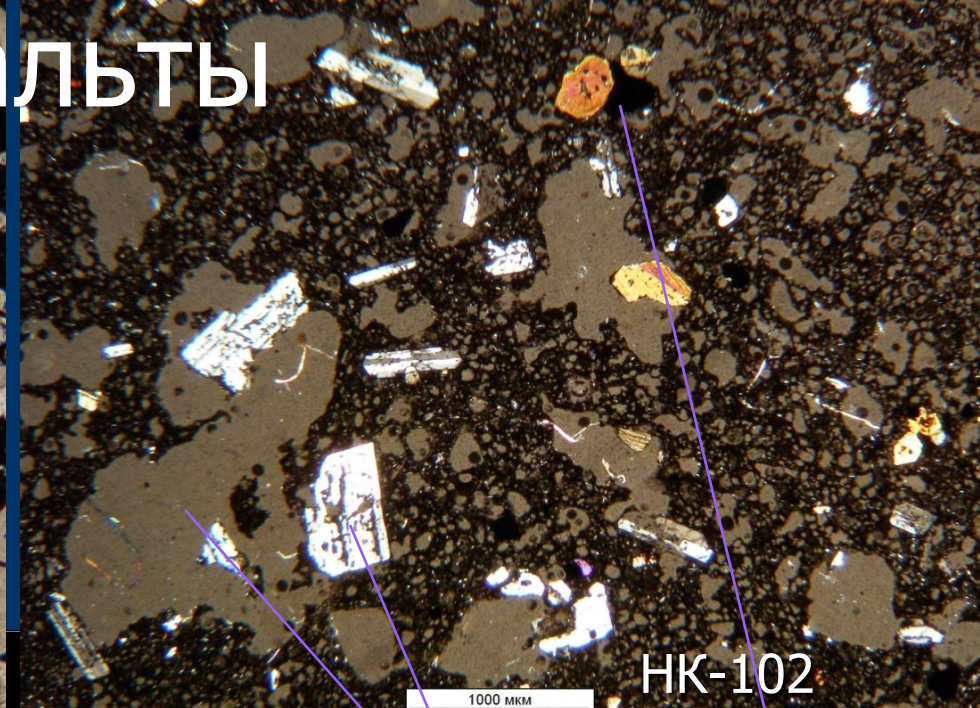
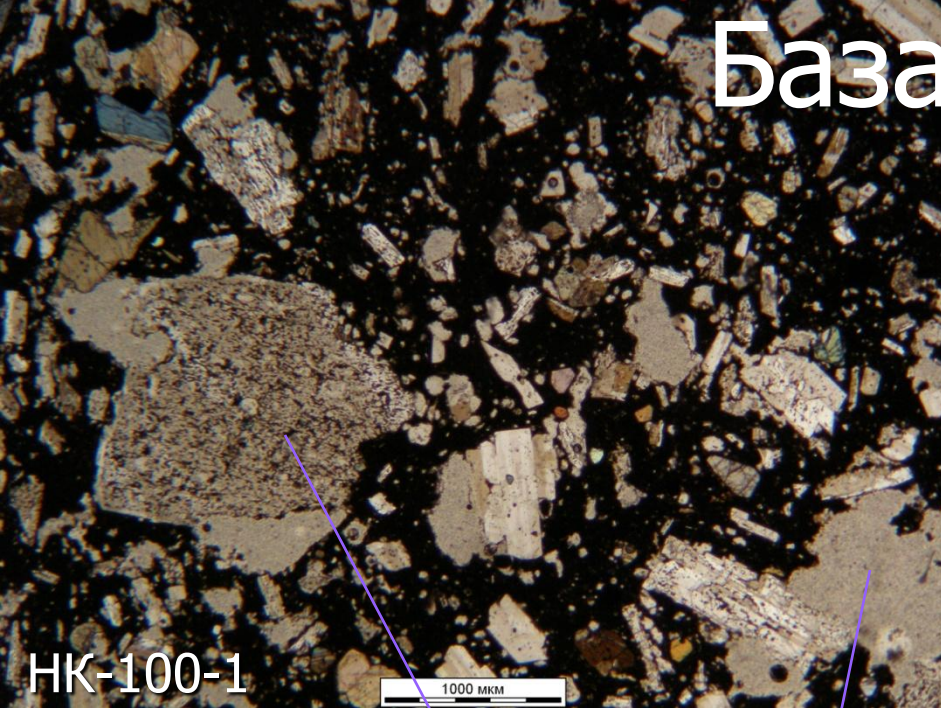
Плотность



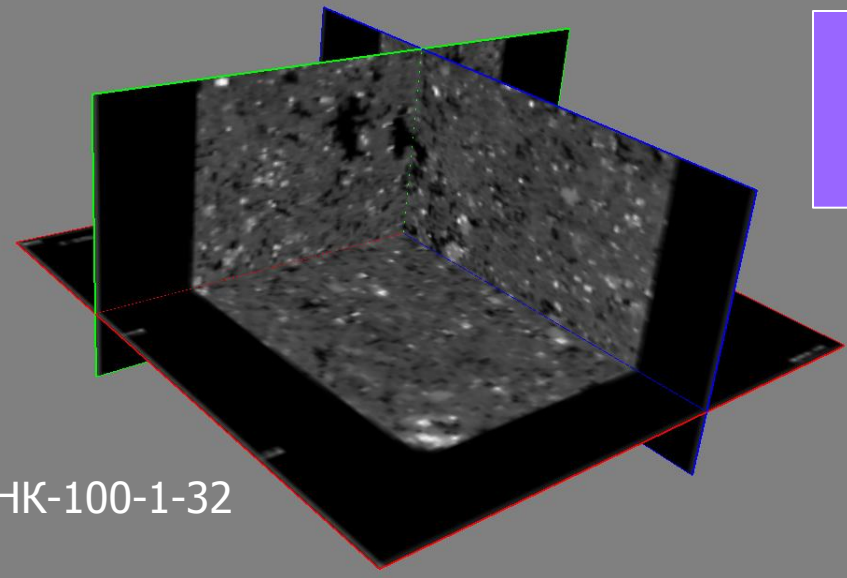
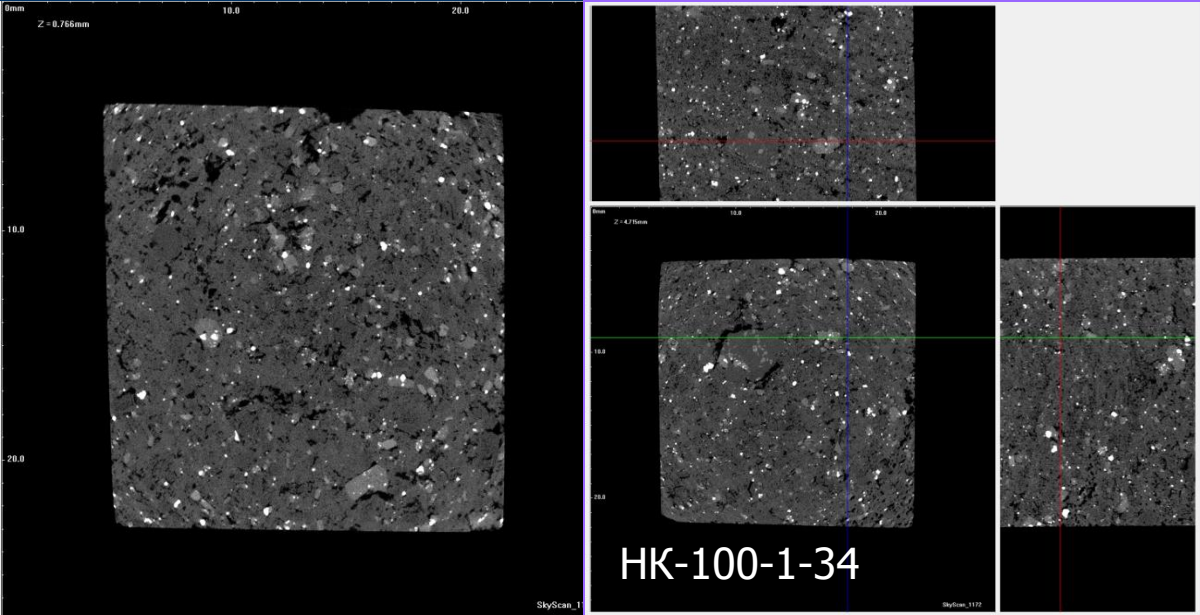
Андезит НК-1/09-1с



Базальты



Рентгеновская микротомография



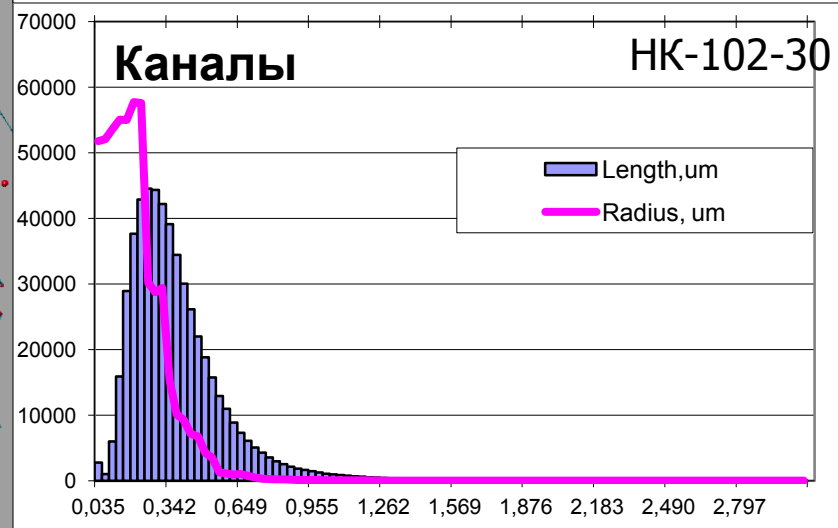
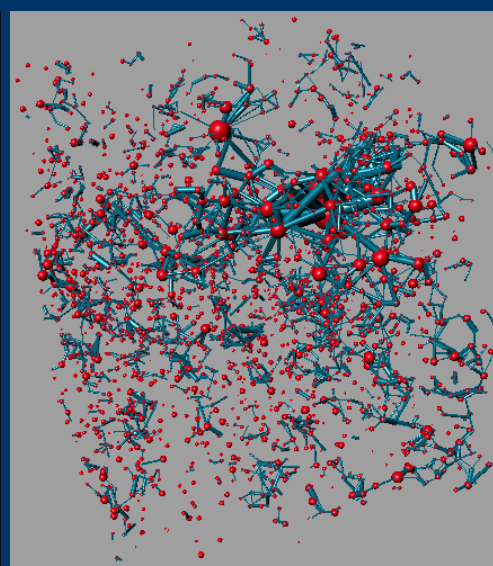
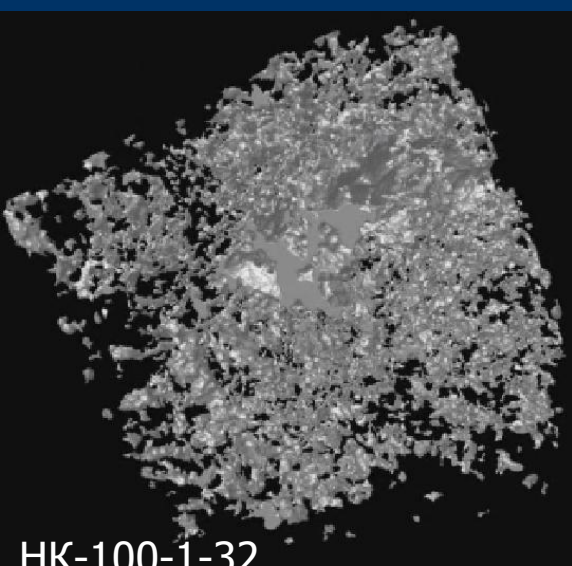
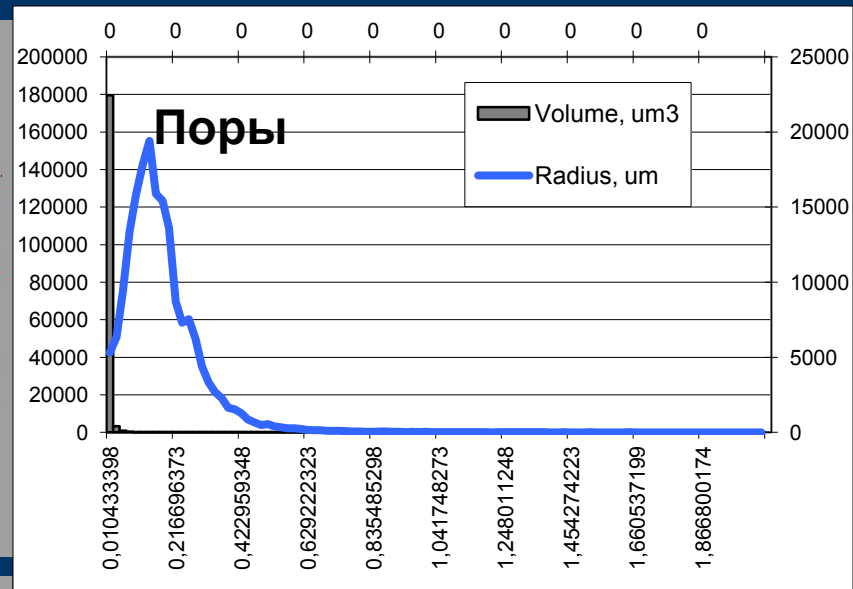
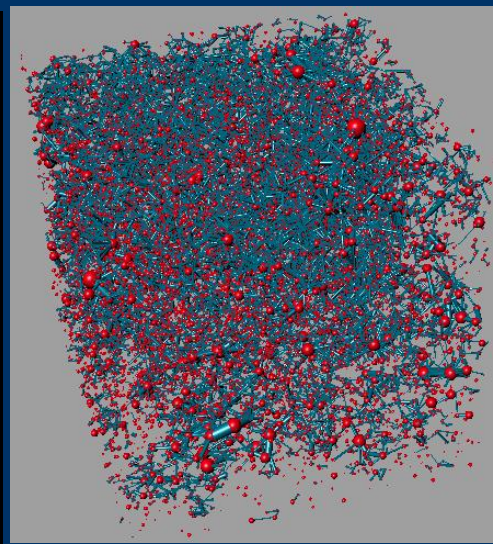
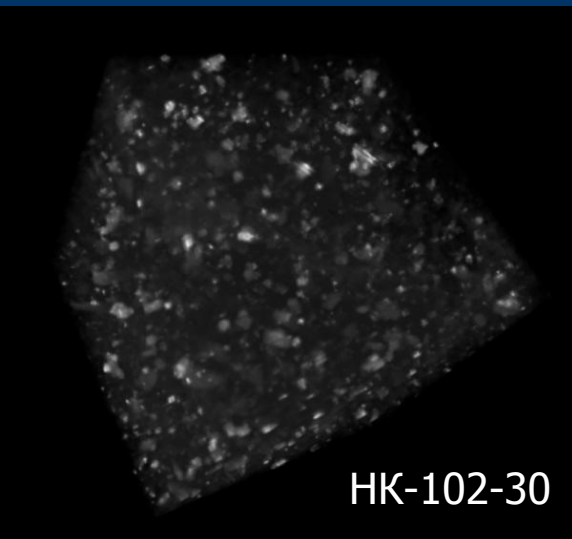
Сканирование
исходного
образца

Сканирование
измененного
образца

Выделение одинаковых
объемов образца для
максимальной точности,
фрагментация
изображений

Морфологический анализ
и численное
моделирование

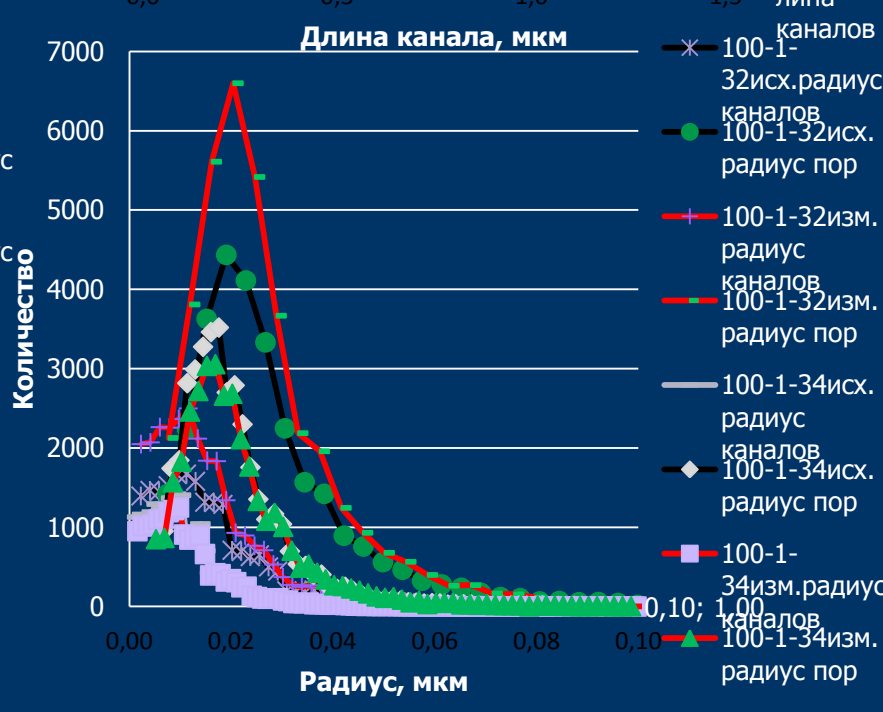
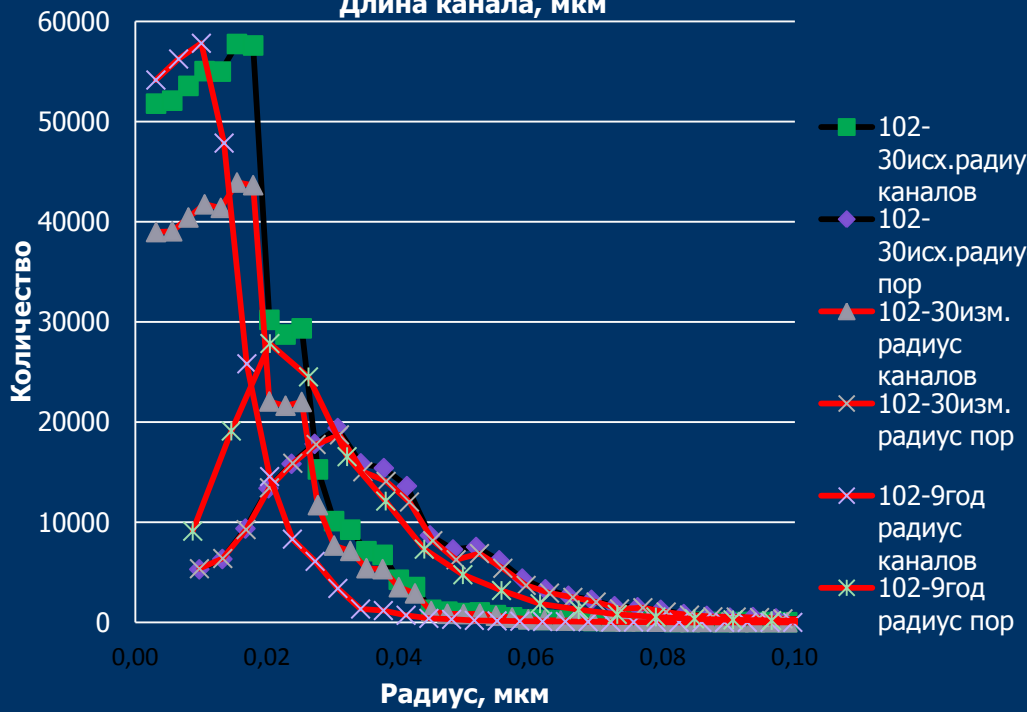
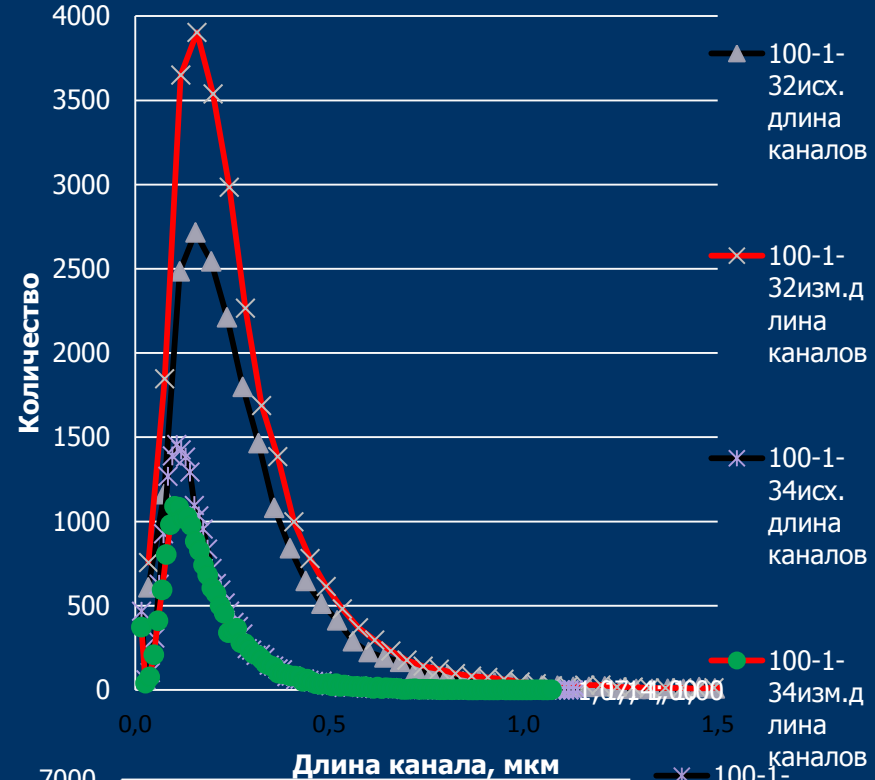
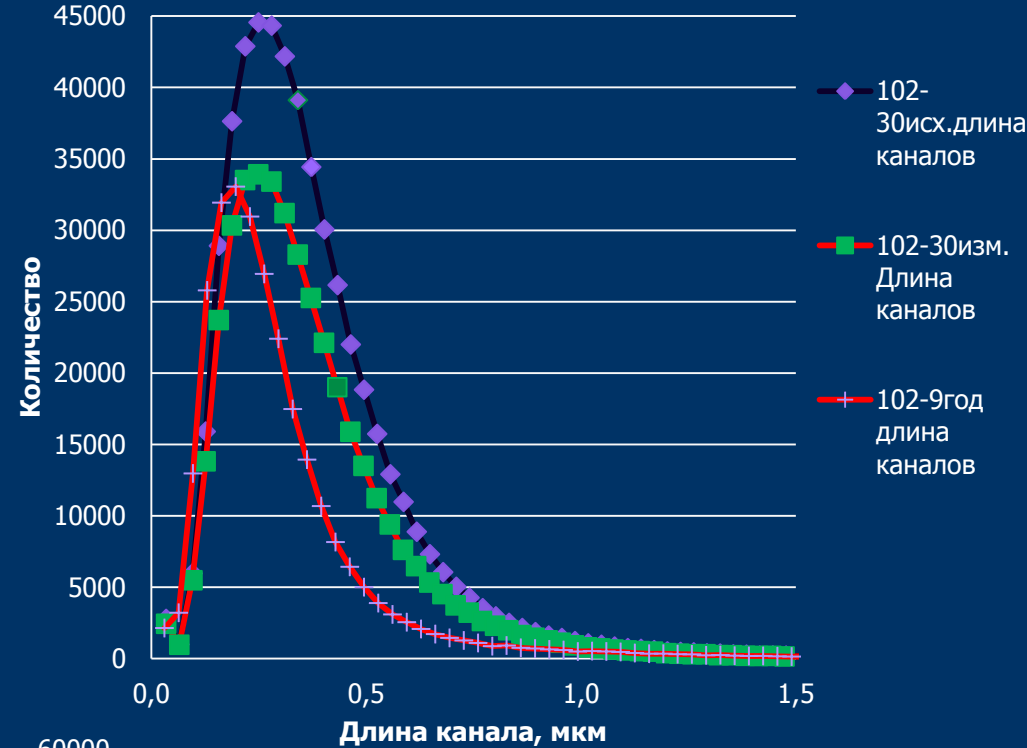
Морфологический анализ и численное моделирование



1. Визуализация расположения тяжелых минералов и порового пространства образцов ->
2. Сеточная модель пустотного пространства ->
3. Морфологический анализ

Данные компьютерной рентгеновской микротомографии и выделенных pore-network моделей для исходных и измененных образцов пористых базальтов (НК-100-1-32 и -34) и шлака (НК-102-9 и -30)

Параметр		Исходные			Измененные			
		НК-102-30	НК-100-1-32	НК-100-1-34	НК-102-30	НК-100-1-32	НК-100-1-34	НК-102-9
Пористость (по 3D изображениям), %		37,0	8,2	5,6	32,7	9,5	5,6	38,0
Количество пор		184892	28790	40345	175066	36611	34829	130922
Количество каналов		535303	20183	21179	405744	27015	18047	279500
Количество изолированных объектов		14300	35067	59678	24251	42403	51669	16772
Среднее число соединений		5,76	1,37	1,03	4,61	1,45	1,02	4,24
Среднее отношение длины канала к его радиусу		18,9	14,6	13,9	18,5	14,8	13,9	20,7
Абсолютная проницаемость (мД)		3,94	0,30	0	3,35	0,42	0	2,01
Параметр пористости		3,9	251,9	0	5,1	156,8	0	6,8
Радиус поры, мм	минимальный	0,008	0,006	0,004	0,008	0,006	0,004	0,006
	максимальный	0,36	0,39	0,16	0,36	0,43	0,17	0,59
	средний	0,038	0,027	0,020	0,037	0,027	0,021	0,029
Объем поры, мм ³	минимальный	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0
	максимальный	2,06	3,82	0,10	1,99	4,62	0,13	3,71
	средний	0,004	0,002	0,0005	0,004	0,002	0,0006	0,003
Длина канала, мм	минимальная	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	максимальная	3,09	4,07	1,15	3,08	4,17	1,08	3,33
	средняя	0,37	0,28	0,17	0,37	0,28	0,18	0,30
Радиус канала, мм	минимальный	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
	максимальный	0,25	0,18	0,10	0,25	0,43	0,10	0,35
	средний	0,016	0,016	0,011	0,016	0,027	0,011	0,011
Объем канала, мм ³	минимальный	0	0	0	0	0	0	0
	максимальный	0,13	0,07	0,01	0,14	0,07	0,01	0,12
	средний	0,0001	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001



Свойства исходных и измененных за 30 дней при T=300 °C и P=86 бар пород Кошелевского вулкана

Пробы	раствор	ρ , г/см ³	ρ^s , г/см ³	n, %	n_o , %	W_g , %	W_b , %	V_p , км/с	V_s , км/с	Ед, ГПа	R_c , МПа	χ^*10^{-3} СИ
НК-1/09- 1с	-	2,51	2,68	6,2	5,4	0,1	2,1	3,95	2,40	39	124	26,4
	кисл.	2,51	2,63	4,6	4,8		1,9	3,80	2,30	37	104	26,4
НК-1/09- 1с и -1	-	2,50	2,68	6,8	5,3	0,1	2,1	4,10	2,35	41	160	28,3
	щел.	2,50	2,84	11,8	5,0	0,0	2,0	3,70	2,20	32	134	35,7
НК-1/09- 1с и -1	-	2,52	2,69	6,4	5,3	0,2	2,1	4,05	2,35	40	193	27,9
	НК-2	2,52	2,71	7,3	4,9	0,2	1,9	3,50	2,05	30	157	35,1
НК-100-1	-	2,26	2,86	21,1	11,6	0,5	5,2	4,15	2,30	33	57	39,4
	кисл.	2,23	2,90	23,0	17,9	0,5	8,0	4,10	2,30	26	29	49,6
НК-100-1 и -100-3	-	2,30	2,90	20,7	10,3	0,5	4,5	4,35	2,40	34	66	45,7
	щел.	2,30	3,02	23,7	21,6	0,3	9,4	3,60	2,05	23	33	68,0
НК-100-1 и -100-3	-	2,25	2,90	22,6	13,0	0,4	5,8	4,20	2,40	33	60	46,1
	НК-2	2,24	2,85	21,1	20,8	0,5	9,3	3,10	1,80	20	32	71,9
НК-102	-	1,04	2,87	62,4	48,8	0,7	46,8	2,85	1,80	8	10	15,9
	кисл.	1,05	3,05	65,4	46,1	1,0	43,7	2,65	1,45	5	5	9,1
НК-102 и -110	-	1,29	2,87	54,6	40,0	0,7	37,3	2,70	1,60	7	13	29,2
	щел.	1,27	2,97	57,7	49,9	0,3	46,6	2,65	1,60	8	3	44,4
НК-102 и -110	-	1,16	2,87	58,8	45,4	0,7	44,7	2,80	1,65	9	8	21,2
	НК-2	1,15	2,89	60,0	49,2	0,4	48,6	2,60	1,50	6	9	30,1

Прочность на одноосное сжатие, МПа

200

150

100

50

0

0,0

10,0

20,0

30,0

40,0

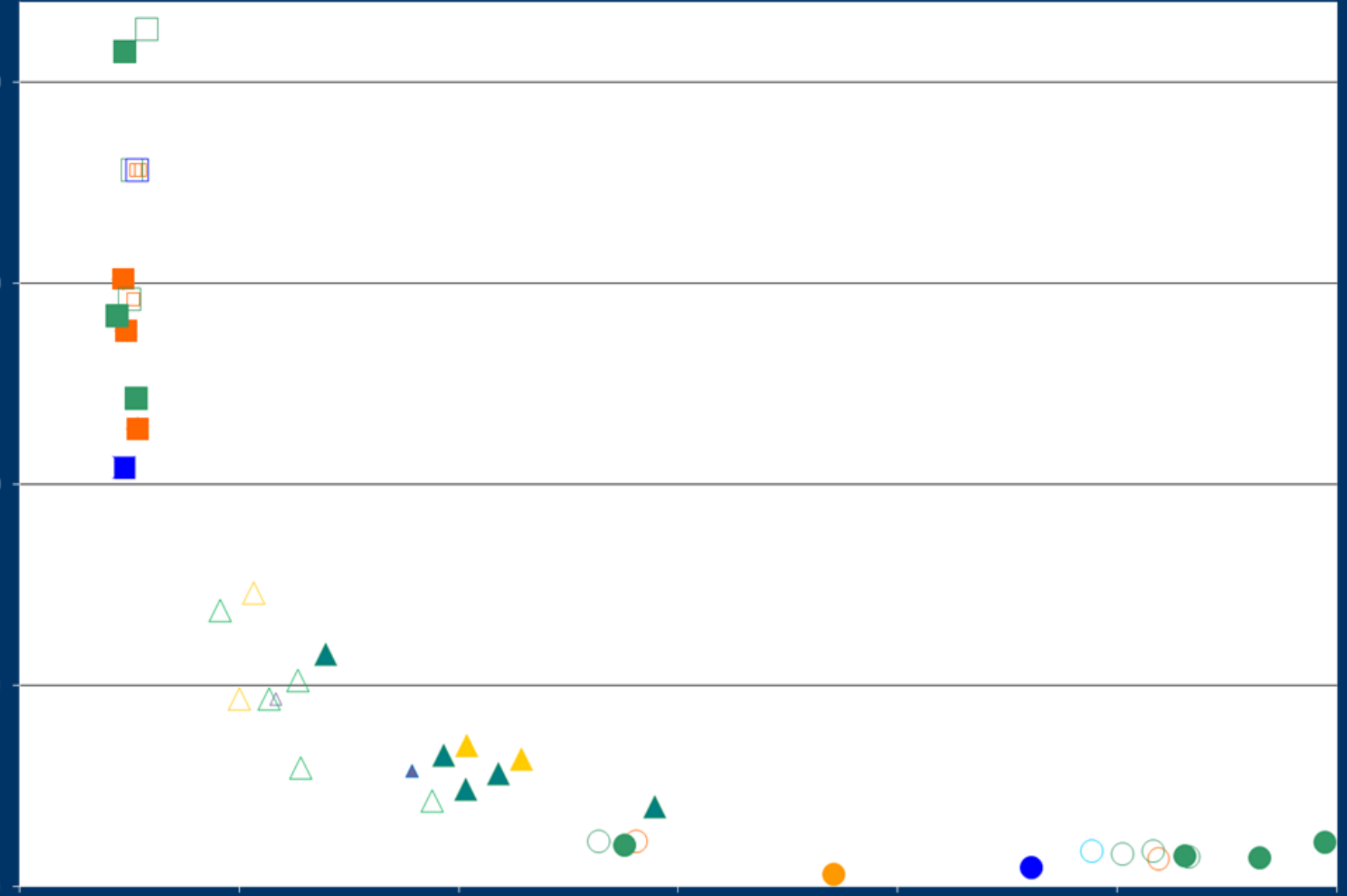
50,0

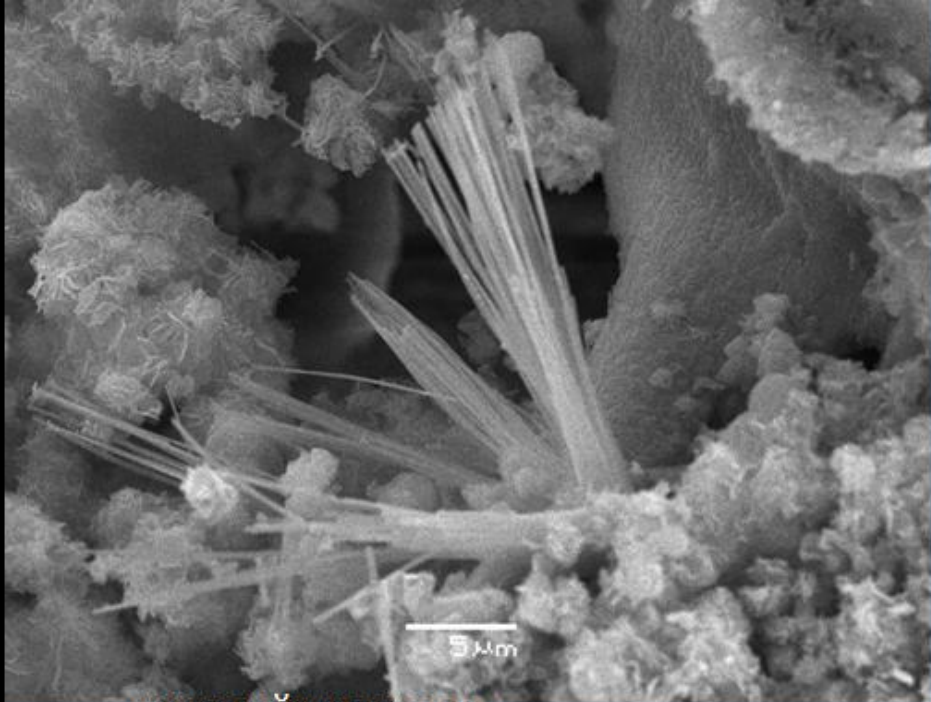
60,0

Открытая пористость, %

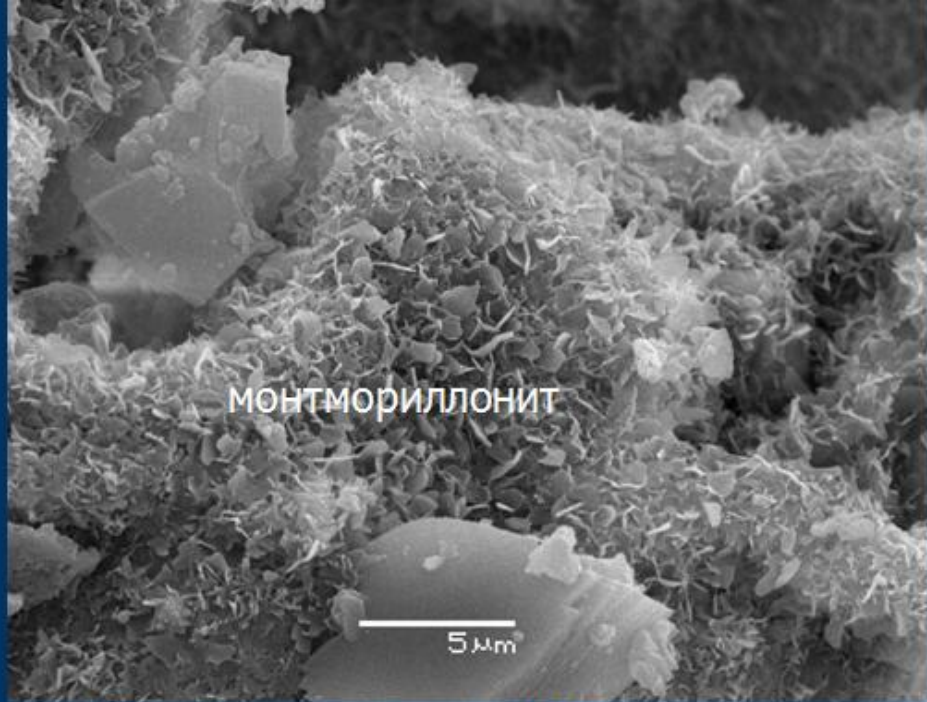
Зависимость прочности на одноосное сжатие пород от их открытой пористости.

Условные обозначения: квадрат – плотные андезиты, треугольник – пористые базальты, круг – шлаки; измененные – закрашенные, исходные – без заливки



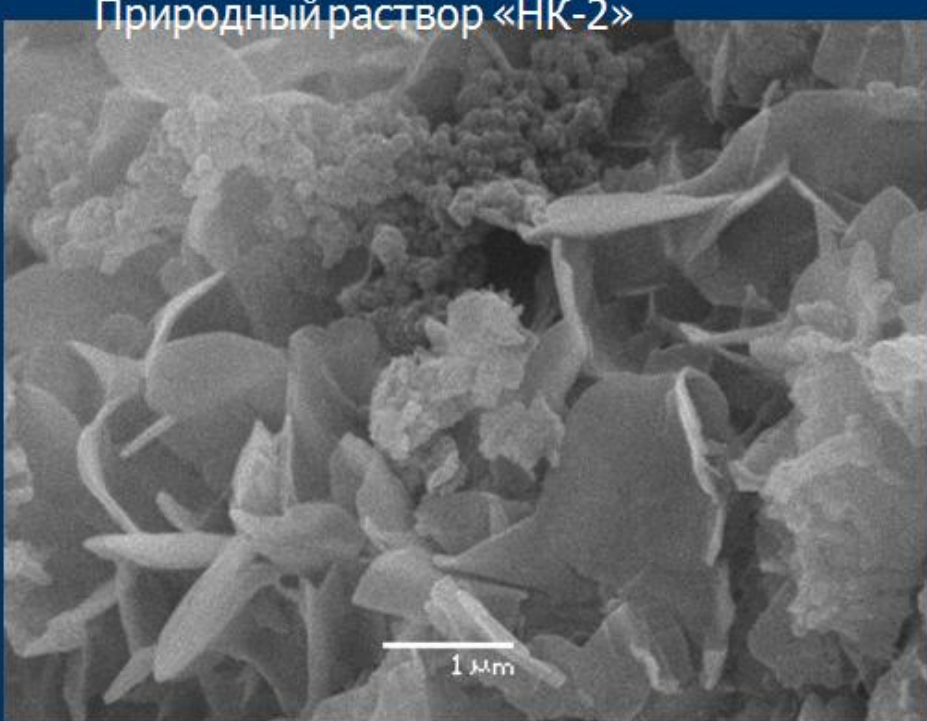
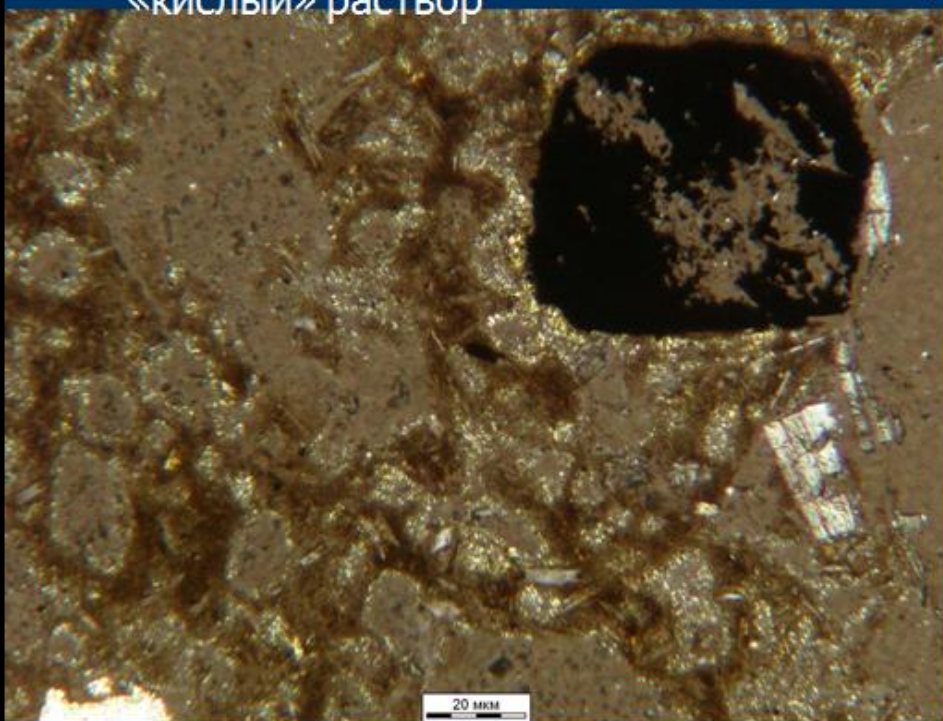


«кислый» раствор



монтмориллонит

Природный раствор «НК-2»



Выводы:

- 1) определяющим фактором, влияющим на динамику преобразования состава, строения и свойств исследованных грунтов, являются особенности первичной породы - наименьшие изменения свойств произошли в плотных андезитах с низкими значениями открытой пористости (менее 5%);
- 2) при одинаковой продолжительности взаимодействия раствор-порода, температуре и давлении существенное влияние на характер изменения свойств пород оказывает рН раствора, за счет более активного минералообразования в кислых условиях;
- 3) при высоких температурах происходит преобразование порового пространства пород, что отразилось на изменении открытой пористости и абсолютной проницаемости, ухудшении деформационных и прочностных свойств грунтов;
- 4) компьютерную рентгеновскую микротомографию эффективно использовать для изучения изменений строения и свойств пород под воздействием гидротермальных процессов

Огромное спасибо!!!

