

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОРАДАРНОЙ СЪЕМКИ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ РАЙОНА г.ТАРБАГАНЬЯ (ПОДНОЖИЕ ВУЛКАНА МУТНОВСКИЙ)

*Топчиева О.М.*<sup>1</sup> (4 курс), *Павлова В.Ю.*<sup>2</sup> (аспирант)

<sup>1</sup> Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

*Научный руководитель: к.г.-м.н. Делемень И.Ф.*

Одной из важнейших проблем в понимании новейших этапов развития Мутновского вулкана (Камчатка) является вопрос о происхождении пемзовых отложений. Пемзовые отложения обнажаются у северо-западного подножия вулкана, слагая г. Пемзовая и Тарбаганья. В августе-сентябре 2010 года были проведены полевые исследования района г. Тарбаганья – георадарное профилирование, отбор образцов горных пород. Цель – получение максимально полной информации о строении и свойствах объекта исследования выполнена благодаря сопоставлению результатов георадарной съемки с геологическими данными.

*Ключевые слова: георадар, интерпретация, пемзовые отложения, шлиф, вулкан Мутновский, гора Тарбаганья, Камчатка.*

### **Введение**

Мутновский вулкан расположен в 75 км от г. Петропавловск-Камчатский и в 20 км от берега Тихого океана, за цепью берегового хребта (рис.1). Вулкан занимает в районе господствующее положение, оказывая большое влияние на гидрогеологические условия сопредельных территорий. Породы литологически представляют собой чередование туфов, пористых шлаков, сильнотрещиноватых лав, затронутых разломными зонами. Первичные полевые исследования показали, что гора Тарбаганья - это пемзовый покров, представленный обломками светло-серой пемзы различного размера (до 0,5 м) и в меньшем количестве обломками лавы размером от 2-5 см до 30 см.

Целью работ является изучение пемзовых отложений для решения вопроса генезиса района горы Тарбаганья.

Из известных опубликованных результатов по исследованию района г. Тарбаганья относятся работы Святловского А.Е. и Селянгина О.Б.

По Святловскому А.Е. «г. Тарбаганья - это пемзовые отложения, сложенные цементированными пемзовыми туфами, имеющими матрасовидную или глыбовую отдельность, возникшую благодаря цементации» [5, С. 53-58].

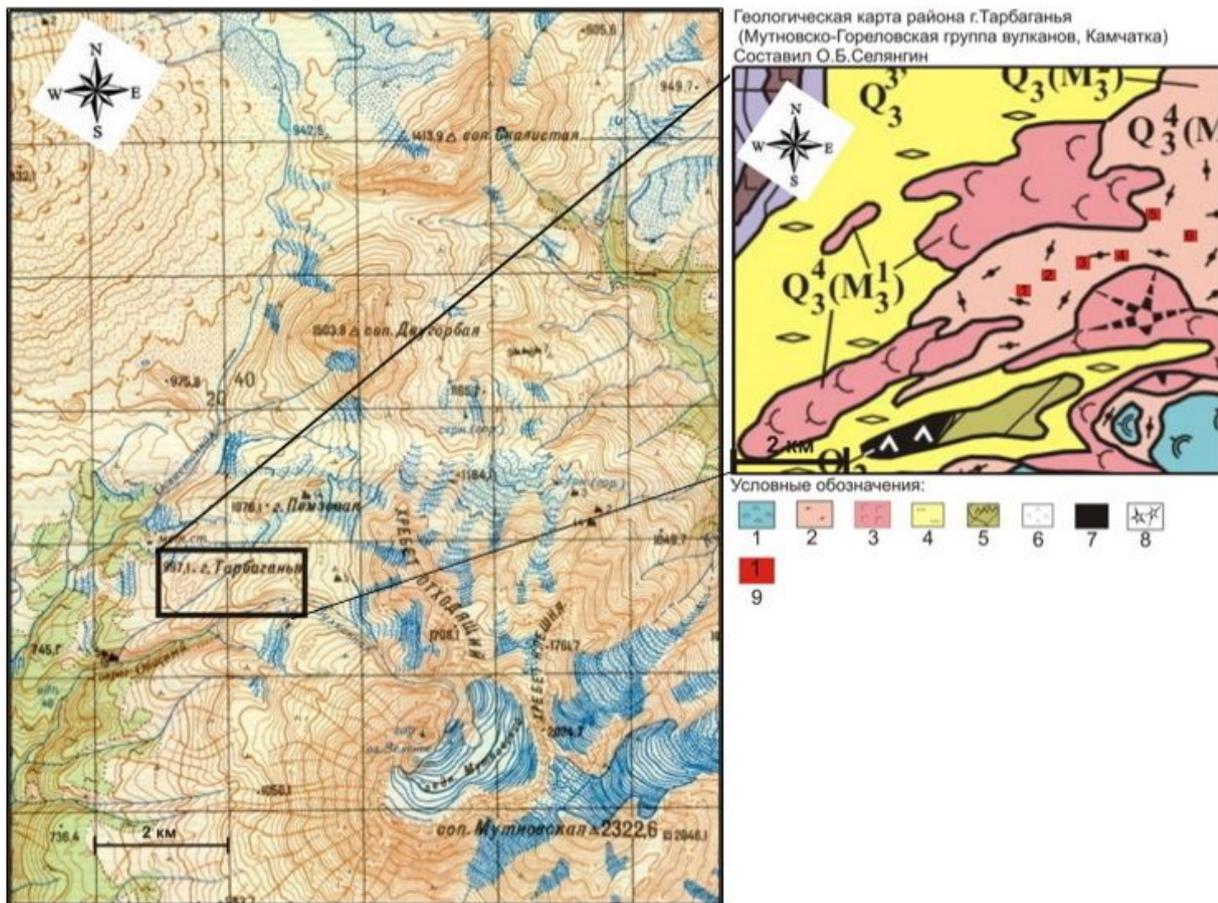


Рис.1. Топографическая и геологическая карта района исследований [6].

Условные обозначения: 1- дациты; 2 – дацитовые пемзы кальдерообразующего извержения вулкана Мутновский; 3 – базальты; 4 – дацитовые, андезитовые пемзы и игнимбриты главного этапа кальдерообразующих извержений Гореловского центра; 5 – лавовые покровы и останцы стратовулканов, базальты – андезиты; 6 – дациты; 7 – эффузивный купол; 8 – шлаковый конус; 9 – точки отбора образцов горных пород.

По Селянгину О.Б. «г. Тарбаганья представляет собой пемзовый покров, образовавшийся при извержении Мутновского-3. Этот покров включает слоистые отложения пемзопадов (тефру) и несортированные, неслоистые отложения пирокластических потоков. В местах наибольшей мощности они сцементированы в трещиноватый монолит спеканием или,

возможно, гидрохимической цементацией. Отдельные горизонты пемз прослоены отложениями сопровождавших извержение крупно-глыбовых грязекаменных потоков (лахаров). Мощность отложений постепенно увеличивается на удалении от кальдеры и достигает 80-100 м в разрезе гор Пемзовая и Тарбаганья (рис.1)» [6, с. 14-17, 25].

## Методика исследований

### *Обработка геологических данных*

Изготовление шлифов. Из данных образцов были изготовлены шлифы в лаборатории пробоподготовки ИВИС ДВО РАН. Шлифы позволяют определять главные породообразующие минералы и возможность судить о приблизительном количестве  $\text{SiO}_2$  в образцах горных пород.

Химический анализ горных пород. Химический анализ данных образцов проводился с помощью метода РФА (рентгенофлуоресцентный анализ). С помощью него могут анализироваться различные элементы от бериллия (Be) до урана (U). Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. По энергии и количеству квантов судят о строении вещества.

Определение минеральной плотности. Минеральная плотность ( $\rho_s$ ,  $\text{кг/м}^3$ ) – удельная плотность твердой компоненты горной породы. Ее определение проводилось пикнометрическим методом [4].

Для каждого образца горной породы рассчитана минеральная плотность  $\rho_s$ ,  $\text{г/см}^3$ :

$$\rho_s = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (1)$$

где  $m_0$  — масса сухого грунта, г (разность результатов двух взвешиваний);  $m_1$  — масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения (при известной температуре), г;  $m_2$  — масса пикнометра с водой при той же температуре, г;  $\rho_w$  — плотность воды при той же температуре,  $\text{г/см}^3$ .

Для каждого выделенного участка выполнена оценка статистических параметров, что позволило выявить характер распределения значений минеральной плотности для образцов горных пород [2, 3]:

1. Оценка среднеарифметического значения плотности:

$$\bar{\rho} = \frac{(\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n)}{n} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \rho_i\right)}{n}, \quad (2)$$

где  $\bar{\rho}$  - оценка среднеарифметического значения плотности;  $\rho_i$  - текущее значение плотности;  $i$  - номер измерения, начиная с первого и заканчивая  $n$ ;  $n$  - количество измерений.

2. Оценка дисперсии значений плотности  $S^2$ :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i^2 - n\bar{\rho}^2}{n-1}, \quad (3)$$

3. Оценка стандартного отклонения значений плотности  $S$ :

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (4)$$

Среднеарифметическое значение плотности – 2,25 г/см<sup>3</sup>; оценка дисперсии – 0,02 г/см<sup>3</sup> и оценка стандартного отклонения – 0,01 г/см<sup>3</sup>, что говорит о небольших изменениях плотности отложений. Минимальное значение минеральной плотности – 2,05 г/см<sup>3</sup>, что соответствует верхним слоям отложений. Максимальное значение плотности – 2,35 г/см<sup>3</sup>, соответствующее нижним слоям отложений. В общем, минеральная плотность соответствует нормальной минеральной плотности дациандезитовой пемзы.

#### *Проведение георадарной съемки*

Метод георадиолокации основан на свойстве радиоволн отражаться от границ раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью. Метод георадиолокации отличает универсальность, позволяющая использовать георадары для решения разного рода задач. В данном случае, для картирования геологических структур – восстановление геометрии относительно протяженных границ, поверхности коренных пород под рыхлыми

осадками, границ между слоями с различной степенью водонасыщения; определение свойств различных отложений по скорости распространения электромагнитных волн, опираясь на связь этих свойств с диэлектрической проницаемостью пород [1, 8].

С учетом уклона рельефа района г.Тарбаганья, неоднородности ее строения, были выбраны 8 профилей для проведения георадарной съемки (рис.2).

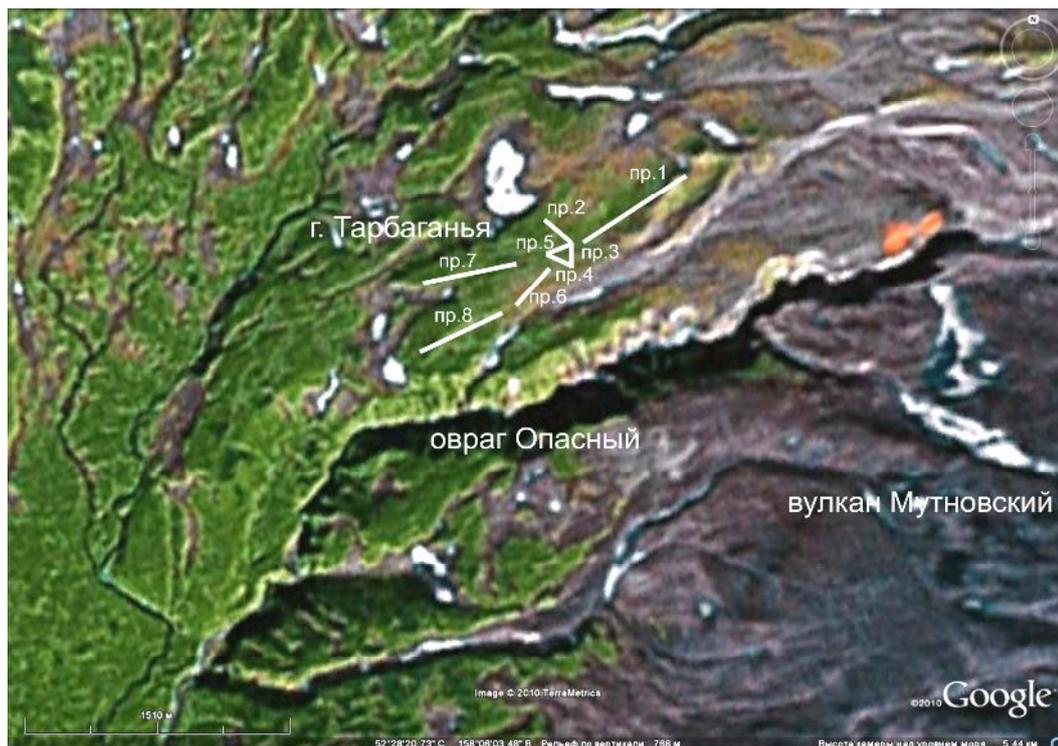


Рис.2. Намеченные георадарные профили на территории района работ

Для исследований использовали георадар “ОКО” (НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова).

Во время проведения работ по георадиолокации применены следующие параметры:

- количество точек по глубине – 511;
- накопление – 20;
- шаг – 200 мм;
- количество точек по профилю – 2000;
- сдвиг – 8-9 м;

- развертка по глубине – 200 нс;
- скорость прохождения профиля – 1,2 км/ч.

### *Интерпретация радарограмм*

В результате работ получено 8 радарограмм. Радарограмма – волновая картина, совокупность трасс вдоль профиля съемки, протяженные по глубине оси синфазности отраженного сигнала, белые (отрицательные полуволны) и черные (положительные полуволны).

Цель обработки – выделение полезных сигналов (отраженных от искомым объектов) на фоне других (помехи, шумы). Интерпретация радарограмм включает в себя [7,8]:

1. Первичный анализ данных. Идентификация полезных и “неполезных” волн: усиление сигнала и подбор контрастности изображения; исключение маскирующего эффекта сигнала прямого прохождения; частотная фильтрация.

2. Выделение объектов на профиле (точечных и протяженных). Исследуются параметры волновой картины: конфигурация осей синфазности отраженных волн; амплитуда отражения (интенсивность осей синфазности) и их протяженность.

Точечные объекты – объекты в зондируемой среде, линейные размеры которых по горизонтали вдоль профиля сопоставимы с излученной длиной волны, и дающие на радарограмме отражения в виде гипербол. Протяженные объекты – объекты, линейные размеры которых по горизонтали вдоль профиля гораздо больше, чем длина волны, излученная антенным блоком, и дающие отражения в виде протяженных осей синфазности.

После того, как проложены все требуемые границы слоев на профиле, для каждого слоя рассчитано значение диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon = \left( \frac{C}{V} \right)^2, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $V$  – скорость электромагнитной волны в среде;  $C$  – скорость электромагнитной волны в вакууме.

## Результаты

### Геологические данные

Описание шлифов. Основная масса представлена свежим стеклом, степень изменения данных образцов – значительная (под воздействием гидротермальных процессов). Обнаружены обломки (до 10 мм) других горных пород – андезита и базальта (рис.3). В шлифах образцов горных пород присутствуют плагиоклазы, ортопироксены, клинопироксены, кварц и цеолит (?). Текстура - микропористая, структура – флюидальная (рис.4а), гиалиновая. Количество вкрапленников колеблется от 5% до 80% от всего объема горной породы. Темноцветы практически отсутствуют.

Плагиоклаз присутствует в нескольких генерациях - крупные до 5 мм и менее 1 мм. Все они характеризуются зональным, полисинтетическим строением, также наблюдаются двойники срастания, присутствуют зерна как ксеноморфные, так и идиоморфные (рис.4б, в, г, д).



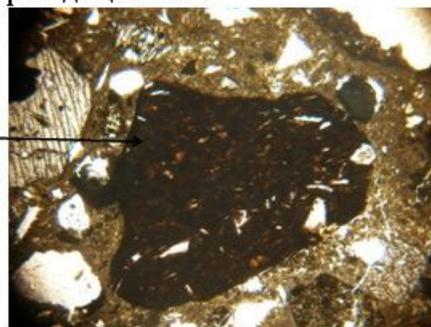
Фотография образца МЗ-4-1 (2)



Фотография шлифа образца МЗ-4-1 (2) в проходящем свете



Фотография образца МЗ-5-2 (1)



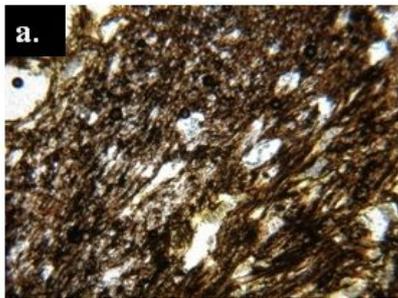
Фотография шлифа образца МЗ-5-2 (1) в проходящем свете

Рис.3. Фотографии образцов горных пород.

Стрелками показано наличие других обломков горных пород. Фотография шлифа образца МЗ-4-1 (2) в проходящем свете – обломок андезита; фотография шлифа образца МЗ-5-2 (1) в проходящем свете – обломок базальта.

Ортопироксен – единичные зерна до 2-2,5 мм, характеризуются прямым погасанием и сильным двулучепреломлением. Клинопироксен - с сильным двулучепреломлением, хорошо выраженной спайностью в двух направлениях, косым погасанием и ксеноморфными зернами до 2-2,5 мм (рис.4б, в, г, д).

Также наблюдаются гидротермальные минералы – цеолит (?) и поры, заполненные халцедоном (рис.4 е, ж).



а. Фотография шлифа МЗ-2-1 в проходящем свете  
 б. Фотография шлифа МЗ-5-2 в проходящем свете.  
 в. Фотография шлифа МЗ-5-2 в поляризационном свете.  
 г. Фотография шлифа МЗ-1-3 в проходящем свете.  
 д. Фотография шлифа МЗ-1-3 в поляризационном свете  
 е. Фотография шлифа МЗ-4-1 в проходящем свете  
 ж. Фотография шлифа МЗ-4-1 в поляризационном свете

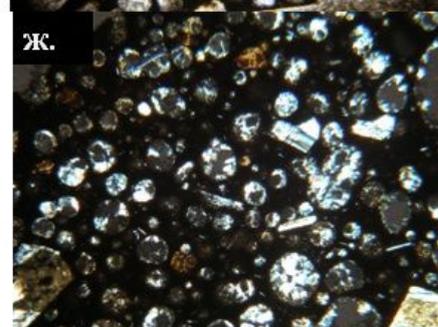
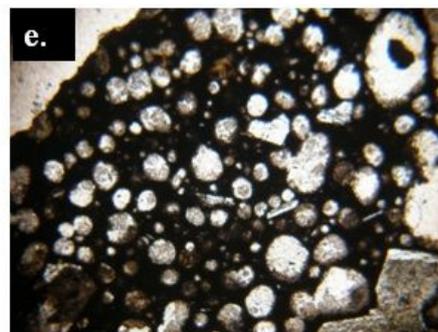
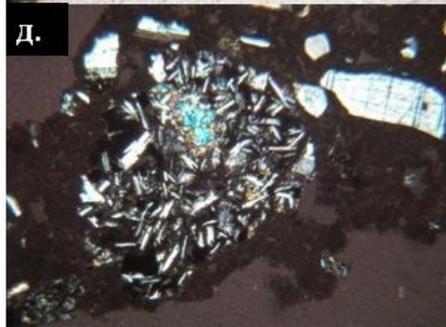
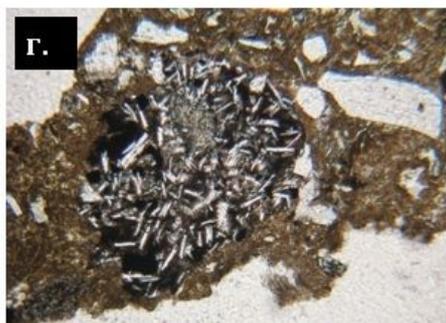
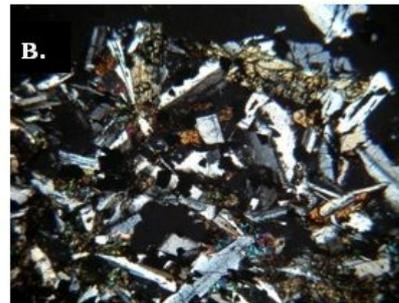


Рис.4. Фотографии шлифов образцов горных пород

Химический анализ горных пород г. Тарбаганья. На графике показан химический состав андезитов и дацитов (эталонные значения) и состав горных пород г. Тарбаганья. Из графика видно, что горные породы являются дациандезитами (рис.5).

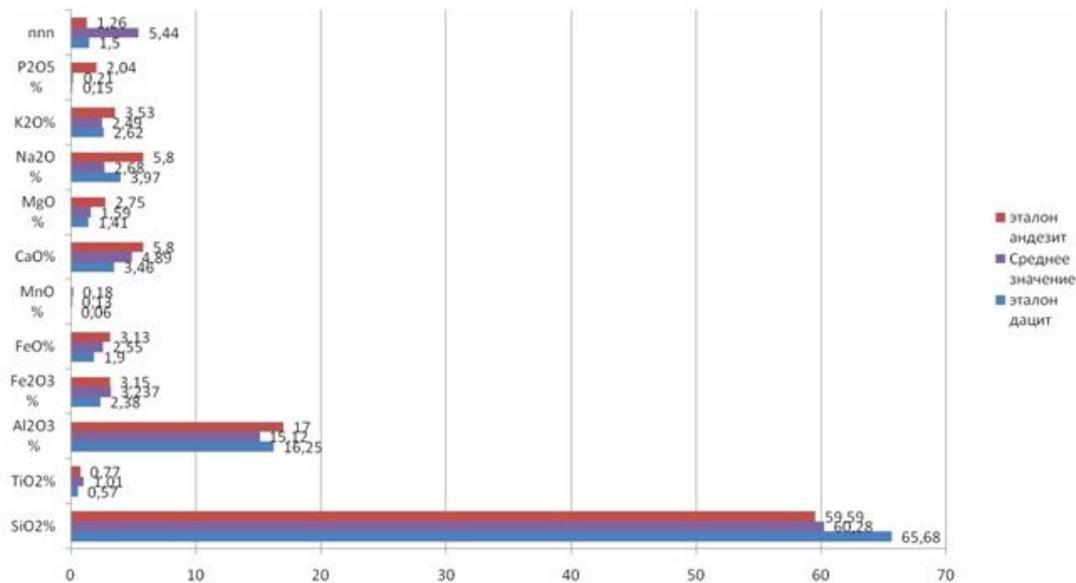


Рис.5. Химический анализ горных пород района г. Тарбаганья



Хим. элемент (PPM)	M3-1-1	M3-1-3 (2)	M3-2-1 (3)	M3-3-1 (4)	M3-4-1 (5)	M3-5-2 (6)
Sc	18	21	17	21	22	20
V	77	0	0	0	138	0
Cr	0	0	0	0	72	663
Ni	4	4	0	4	7	4
Cu	50	48	35	52	48	50
Zn	81	85	68	85	85	86
As	0	0	0	0	0	0
Rb	42	44	57	44	39	44
Sr	499	490	324	490	466	506
Y	48	36	44	61	69	31
Zr	234	228	305	240	228	215
Nb	12	10	10	14	12	10
Mo	2	1	0	2	1	1
Ba	675	645	808	657	1112	654
La	27	24	38	26	47	18
Ce	71	67	73	70	0	63
Pb	16	16	21	17	16	19
Th	11	8	12	9	8	8
U	0	2	3	2	0	0

Рис.6. Распределение химических элементов

По остальным элементам выявлено, что определяется несколько повышенная концентрация Ba, Sr, Zr, Rb, Y более чем в два раза по сравнению с кларком этого элемента в земной коре (рис.6).

*Результаты георадарной съемки*

В результате георадиолокационных исследований получены временные разрезы (рис.7-14). Обработка результатов измерений проведена с помощью программы GeoScan32. По корреляции осей синфазности на радарограммах можно уверенно выделить 3 отражающие границы, а также эпизодически проследить еще одну. Первая (красная горизонтальная линия) граница (кровля 1 слоя) регистрируется на временах порядка 40 нс, что соответствует глубине 0 м. Вторая (желтая горизонтальная линия) граница (подошва 1 слоя и кровля 2 слоя) субпараллельна первой и по времени прихода отражений залегает на временах порядка около 60 нс, что соответствует глубине около 2 м,  $\varepsilon = 81,16$ . Третья (зеленая горизонтальная линия) граница (подошва 2 слоя и кровля 3 слоя) регистрируется на временах порядка около 90 нс, что соответствует глубине около 4 м,  $\varepsilon = 45,68$ . Четвертая (оранжевая горизонтальная линия) граница (подошва 3 слоя и кровля 4 слоя) прослеживается эпизодически на временах порядка 110-130 нс (глубина около 6 м),  $\varepsilon = 30,25-43,12$ .

При геологической интерпретации радарограмм всегда возникают трудности в идентификации отражающих границ в отсутствие конкретных сведений о геологическом строении. Установлено субгоризонтальное залегание пемзовых отложений. В отдельных местах наблюдаются угловые несогласия в залегании слоев, а также дизъюнктивные нарушения. Характерен контраст в значениях диэлектрической проницаемости.<sup>1</sup> Верхняя часть разреза представлена влагонасыщенными, проницаемыми, трещиноватыми дациандезитами, с глубиной породы сменяются монолитными, слабо трещиноватыми дациандезитами. Наблюдается уменьшение диэлектрической проницаемости с глубиной и скачок в измерениях на глубине около 6 м (рис.15).

---

<sup>1</sup> Максимальный контраст в диэлектрической проницаемости наблюдается между воздухом (1) и водой (81). Их соотношение в породе и будет определять диэлектрическую проницаемость слоя.

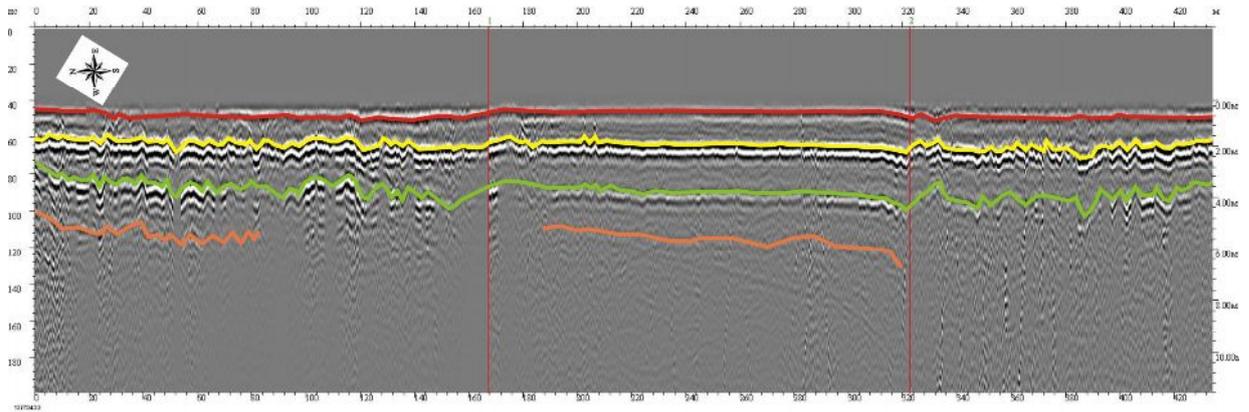


Рис.7. Георадиолокационный разрез профиля 1 (434 м).

Левая вертикальная шкала – время прихода сигналов в нс. Правая вертикальная шкала – глубина отражающих границ в м. Горизонтальная шкала – дистанция от начала профиля в м. Красными вертикальными линиями отмечены границы смены растительных ассоциаций.

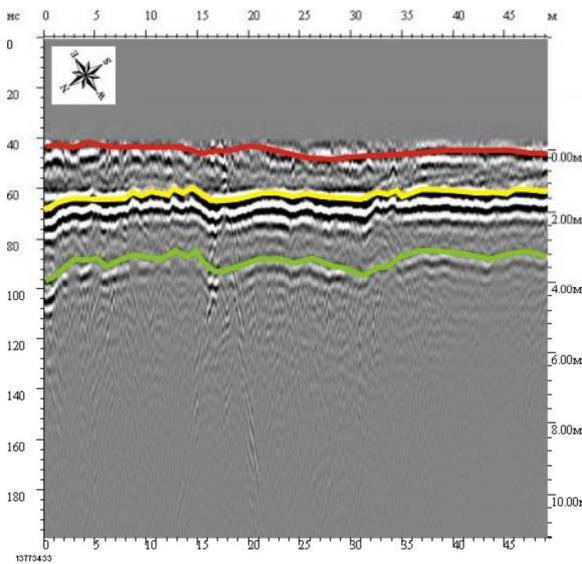


Рис.8. Георадиолокационный разрез профиля 2 (32 м)

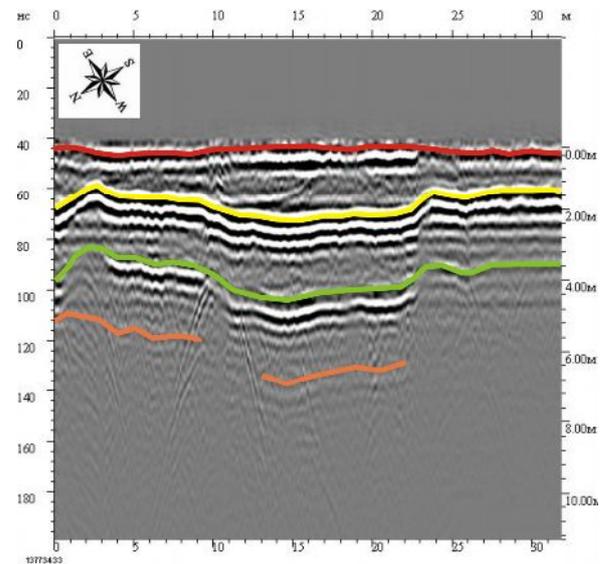


Рис.9. Георадиолокационный разрез профиля 3 (49 м)

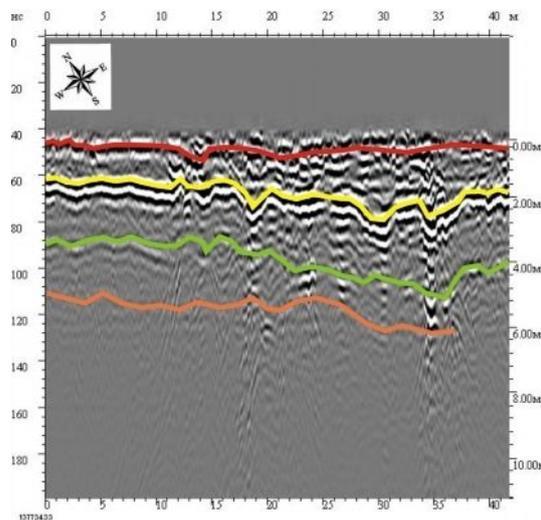


Рис.10. Георадиолокационный разрез профиля 4 (42 м)

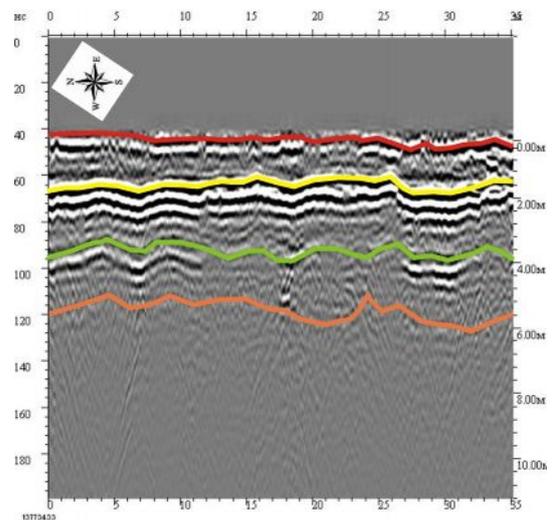


Рис.11. Георадиолокационный разрез профиля 5 (35 м)

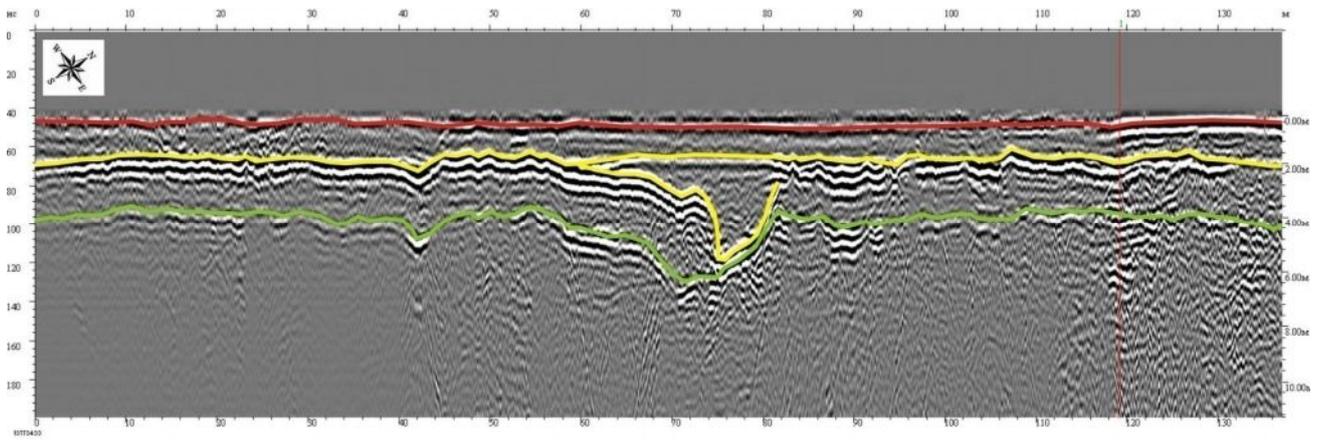


Рис.12. Георадиолокационный разрез профиля 6 (137 м)

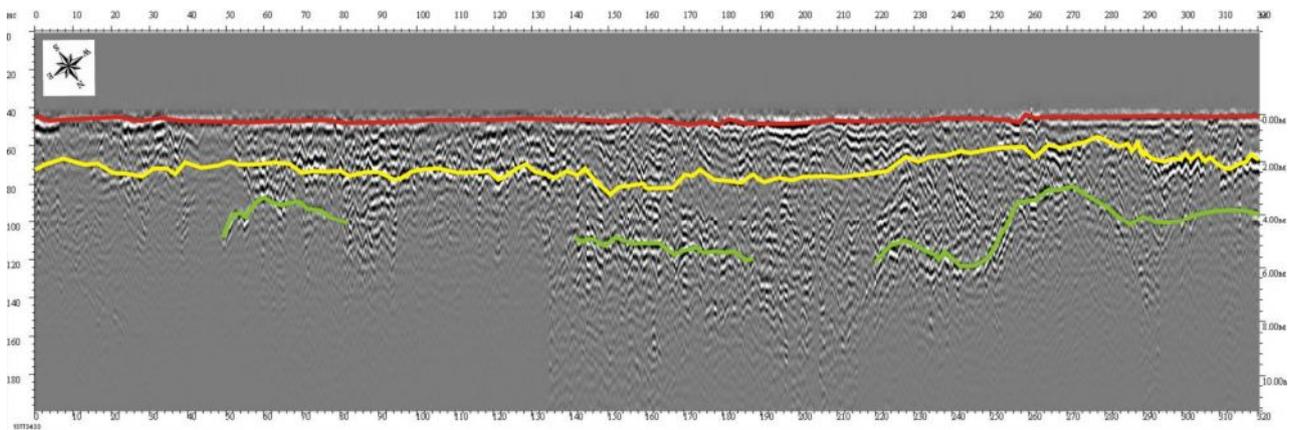


Рис.13. Георадиолокационный разрез профиля 7 (320 м)

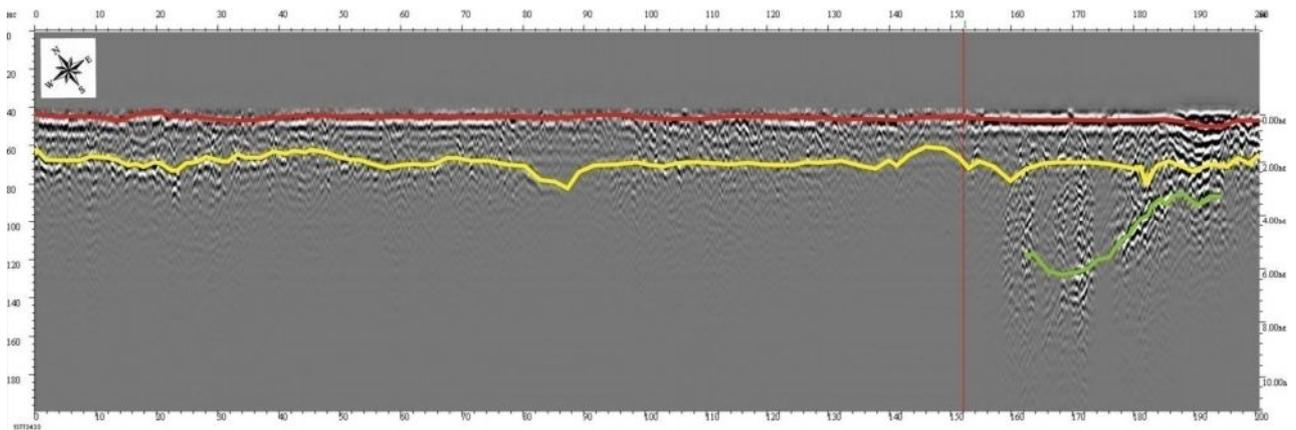


Рис.14. Георадиолокационный разрез профиля 8 (200 м)

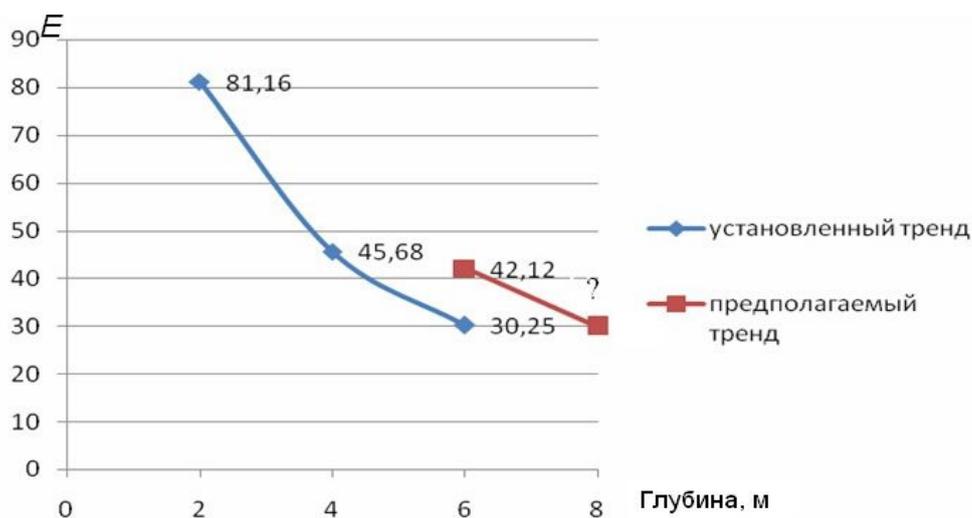


Рис.15. Изменение диэлектрической проницаемости с глубиной

### Выводы

1. По результатам описания шлифов следует, что горные породы преимущественно кислого состава. Также наблюдается переход от флюидальной структуры к структуре пемзового туфа.
2. По результатам химического анализа установлено, что данные горные породы принадлежат к дациандезитам, с несколько повышенной концентрацией некоторых химических элементов (Ba, Sr, Zr, Rb, Y).
3. Минеральная плотность соответствует нормальной минеральной плотности дациандезитовой пемзы.
4. По корреляции осей синфазности на радарограммах можно уверенно выделить 3 отражающие границы, а также эпизодически проследить еще одну.
5. Установлено субгоризонтальное залегание пемзовых отложений. В отдельных местах наблюдаются угловые несогласия в залегании слоев. Выделяются дизъюнктивные нарушения.
6. Наблюдается уменьшение диэлектрической проницаемости с глубиной. Наблюдается скачок в измерениях на глубине около 6 м. Причину этого необходимо установить в дальнейшем. Для этого необходимо провести исследования с антенным блоком более низкой центральной частоты, что обеспечит увеличение глубины зондирования.

Получены результаты по исследованию отложений района г. Тарбаганья, что вносит дополнительный материал в разрешения вопроса генезиса данных отложений

Работы выполнены по программе и при финансовой поддержке проектов РФФИ № 08-05-00453а и № 1665 АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: изд-во МГУ, 2004. 153 с.
2. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977. 572 с.
3. Дмитриев В.И. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике // Справочник геофизика. М.: Недра, 1990. 498 с.
4. Кирюхин А.В., Поляков А.Ю. Временный лабораторный регламент. ИВиС ДВО РАН, 2009. 3 с.
5. Святловский А.Е, Маренина Т.Е. Мутновский вулкан Камчатки. 1952.
6. Селянгин О.Б. К вулканам Мутновский и Горелый // Вулканонологический и туристический путеводитель. П.-К., 2009.
7. Старовойтов А.В. Интерпретация данных георадиолокационных наблюдений. М.: изд-во МГУ, 2008. 192 с.
8. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач. Раменское: ООО «Логические системы», 2008. 28 с.

#### COMPARISON OF RESULTS GEORADAR SHOOTING TO THE GEOLOGICAL DATA OF DISTRICT THE MOUNTAINS TARBAGAN'JA (BOTTOM OF THE VOLCANO MUTNOVSKY)

*Topchieva O.M.<sup>1</sup>, Pavlova V.Yu.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*The Kamchatka State University of Vitus Bering*  
<sup>2</sup>*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

One of the major problems in understanding of the newest stages development of the Mutnovsky volcano (Kamchatka) is a question on an origin of pumice deposits. Pumice deposits are exposed at northwest bottom of the volcano, composing mountains Pumice and Tarbagan'ja. In August - September 2010 field researches of district the mountains Tarbagan'ja of were carried out. This is georadar profiling, sampling of rocks. The purpose - reception of maximum full information on a structure and properties of object research is executed due to comparison of results georadar shooting to the geological data.

*Keywords: georadar, interpretation, pumice deposits, microsection, volcano Mutnovsky, mountain Tarbagan'ja, Kamchatka.*