

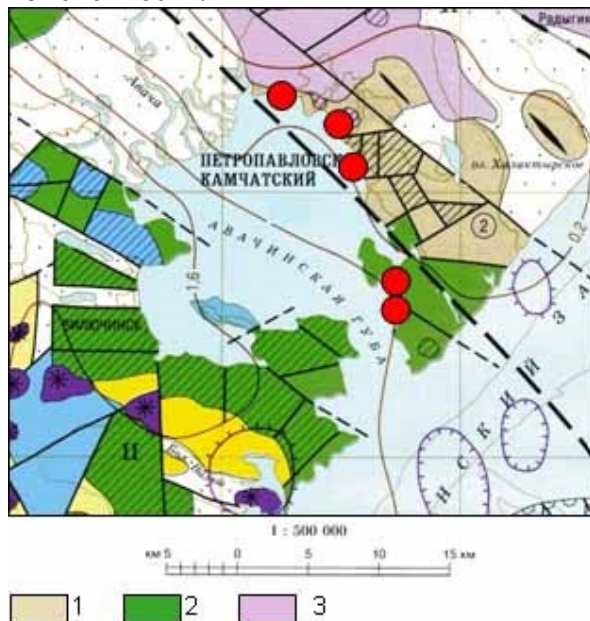
**Сравнительная петрофизическая характеристика вулканогенных пород мелового и миоценового возраста Авачинской губы***Ю.В. Фролова, М.Е. Блюмкина, И.Е. Большаков, А.Б. Ермолинский**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, 119234; e-mail: [ju\\_frolova@mail.ru](mailto:ju_frolova@mail.ru)***Введение**

В районе г. Петропавловска-Камчатского широко распространены разновозрастные (от мела до голоцена) эффузивно-пирокластические отложения. Они являются основанием различных инженерных сооружений (жилых и промышленных зданий, портовых сооружений, автодорог, аэропорта и пр.), в связи с чем необходимы знания об их петрофизических и геомеханических свойствах, характере деформирования и разрушения. Помимо практических задач, петрофизические свойства могут помочь в решении ряда геологических вопросов, поскольку они представляют собой количественные показатели, характеризующие состояние горных пород. Цель работы – сравнить петрофизические свойства вулканогенных пород мелового и миоценового возраста, распространенных в районе Авачинской губы; выявить их различия, обусловленные как первичным составом пород, образовавшихся в разное время и в различных обстановках, так и вторичными преобразованиями под действием регионального метаморфизма. Авторами изучен разрез меловых и миоценовых вулканитов по побережью Авачинской губы (бухта Моховая – бухта Сероглазка – Никольская сопка – бухты Малые и Средние Лагерные) (рис. 1).

**Геологическое строение**

В тектоническом отношении район исследований относится к Малкинско-Петропавловской складчато-глыбовой зоне [4]. В районе г. Петропавловска-Камчатского меловые породы протягиваются полосой от бухты Моховой в Авачинской губе до Халактырского пляжа на побережье Тихого океана [2, 4]. В береговых уступах бухты Моховой обнажается кремнисто-вулканогенная толща. В ее составе преобладают базальты, образующие мощные потоки, с редкими прослоями кремнистых пород. В базальтах местами наблюдается подушечная отдельность [2]. В ЮВ направлении вдоль побережья Авачинской губы среди базальтов появляются пачки переслаивающихся туфов (от алевропсаммитовых до агломератовых). В береговом уступе бухты Сероглазка базальтовый массив перекрыт метаморфизованной толщей, состоящей из кремнистых пород, рассланцованных туфов и туфоалевролитов. Двигаясь далее на ЮВ, в район Никольской сопки, базальты исчезают, их сменяет дислоцированная кремнисто-туфогенная толща, представленная переслаиванием зеленых кремнистых сланцев, окремнелых туфов, туфоалевролитов. В целом, толща меловых пород имеет зеленокаменный облик. На севере района меловые породы перекрыты туфами ранней фазы авачинского вулканического комплекса плейстоцен-голоценового возраста. На юге они граничат с миоценовым завойковским вулканическим комплексом [4], исследованным нами в бухтах Малые и Средние Лагерные. В бухте Малые Лагерные отчетливо наблюдается лавовый поток, вдающийся в море и образующий небольшой мыс (размеры потока: длина 30-40 м, ширина 10 м, мощность 2-3 м). Расположенная южнее бухта Средние Лагерные ограничена обрывистыми берегами, сложенными вулканогенными породами миоцена. В СЗ части бухты клиф высотой 15-25 м сложен слабо дислоцированной толщей эффузивно-пирокластических пород. На отдельных участках породы имеют краснокаменный или зеленокаменный облик, что свидетельствует об их измененности. Южную часть бухты также ограничивает обрывистый берег, высота которого возрастает от 4-5 до 25-30 м. В береговом уступе обнажается сложно построенная толща эффузивных (местами брекчированных) и

вулканогенно-обломочных пород, по-видимому, разного состава и степени измененности.



Условные обозначения:

1. Второй структурный ярус (островодужные образования на коре океанического типа). Верхнемеловые вулканогенно-осадочные отложения и вулканические тела.
2. Третий структурный ярус (островодужные образования на коре переходного типа). Миоценовые эффузивно-пирокластические покровы.
3. Плейстоцен-голоценовая андезибазальтовая формация – лавовые потоки, пирокластические отложения стратовулканов.

Красными кружками показаны точки отбора образцов.

Рис. 1. Тектоническая схема района Авачинской губы (по [4]) с точками отбора образцов.

### Петрографическая характеристика

**Меловые вулканиты.** Породы, исследованные по побережью бухт Моховая и Сероглазка, представлены metabasalts с афировой или порфировой структурой и миндалекаменной текстурой. Структура основной массы интерсертальная, местами метельчатая (базальты Моховой бухты), с расщепленными кристаллами плагиоклазов и пироксенов, являющаяся характерным признаком океанических базальтов. Порфировые вкрапленники представлены моноклинными пироксенами и плагиоклазами, сильно разбитыми трещинами. Возможно, что изначально присутствовали оливины и ромбические пироксены, однако они полностью замещены вторичными минералами. По данным [2], петрогеохимические характеристики базальтов отвечают типу N-MORB и свидетельствуют о формировании в океанической или задуговой обстановке. Вулканиты интенсивно изменены, хотя исходные структуры сохраняются. По первичным минералам развиваются хлорит, пренит, пумпеллит, эпидот, актинолит, кварц, альбит, сфен. Миндалины выполнены кварцем, халцедоном, хлоритом, эпидотом.

Образцы, отобранные в районе Никольской сопки, представляют собой зеленые кремнистые сланцы и окремненные тонкообломочные туфы. Породы однородные тонкозернистые, местами слабо выражена ориентированная текстура и сланцеватость. Основные породообразующие минералы – кварц, эпидот, хлорит, серицит. Породы рассечены многочисленными тонкими кварцевыми прожилками.

Ассоциация вторичных минералов свидетельствует об изменении вулканогенной толщи мелового возраста в условиях пренит-пумпеллитовой фации (ППФ) низкоградного метаморфизма, для которой характерны следующие условия:  $T$  270-340 °C,  $P$  2-6 кб, т.е. глубины от 5 до ~ 20 км [3].

**Миоценовые вулканиты.** Лавовые потоки, исследованные в бухтах Малые и Средние Лагерные, сложены порфировыми андезибазальтами. Вкрапленники представлены пироксенами и плагиоклазами; основная масса интерсертально-гиалопилитовая. Судя по ассоциации вторичных минералов, толща миоценовых вулканитов была изменена в условиях цеолитовой фации (ЦФ) низкоградного метаморфизма, для которого характерна избирательность и неравномерность в переработке пород. В андезибазальтах бухты Малые Лагерные авгит свежий, плагиоклазы альбитизированы и цеолитизированы (ломонтит). Основная масса

замещена ломонитом, образующим бесформенные пойкилобласты, реже радиально-лучистые кристаллические агрегаты, и корренситом. Цеолиты и корренсит также выполняют прожилки. На отдельных участках лавы брекчированы, обломки прочно сцементированы цеолитами. Вулканиды, слагающие береговые уступы в бухте Средние Лагерные, сильно различаются по степени вторичной измененности – от слабо- до сильно измененных. Среди вторичных минералов преобладают цеолиты, селадонит (по ромбопироксенам), окрашивающий породу в ярко зеленый цвет, гематит, гетит, кальцит, корренсит. Кристаллы плагиоклаза сильно выщелочены, частично цеолитизированы и альбитизированы. Параметры ЦФ: Т 90-290 °С, Р 1-5 кб, т.е. глубины от ~ 3 до 10-15 км [3].

### Петрофизические свойства

Вулканиды мелового и миоценового возраста заметно различаются по свойствам (таблица). Меловые вулканиды характеризуются существенно более высокими значениями упруго-плотностных свойств ( $\rho=2.88$  г/см<sup>3</sup>,  $V_p=5.8-6.1$  км/с,  $E_y=73-74$  ГПа) [1], по сравнению с миоценовыми эффузивами ( $\rho=2.48-2.56$  г/см<sup>3</sup>,  $V_p=3.6-4.6$  км/с,  $E_y=26-38$  ГПа). На графике зависимости скорости продольных волн от плотности (рис. 2а) отчетливо выделяются две группы пород, соответствующие меловым и миоценовым вулканидам. Это обусловлено, во-первых, различным первичным минеральным составом (более плотное сложение, повышенное содержание темноцветных минералов и, по-видимому, более основной состав меловых эффузивов), во-вторых, различной стадией метаморфизма и степенью измененности пород. Прочность пород в меньшей мере зависит от их плотности; здесь главным фактором является трещиноватость. Между тем, на графике зависимости прочности от плотности четко выделяются два тренда, соответствующие меловым и миоценовым вулканидам (рис. 2б). Наиболее “слабыми” среди всех пород являются кремнистые сланцы и туфы, что обусловлено их сильной трещиноватостью. Именно эта особенность приводит к непрерывному формированию на западном склоне Никольской сопки осыпей и обвалов, представляющих опасность для расположенной внизу зоны отдыха.

Таблица. Петрофизические и геомеханические свойства вулканидов Авачинской губы

Возраст	Место отбора	Порода, вторичные минералы	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\chi \cdot 10^7$ , СИ	$V_p$ , км/с	$E_y$ , ГПа	$R_c$ , МПа	Кол-во обр./ проб
K <sub>2</sub>	Бухта Сероглазка	Метабазальты (пренит, эпидот, пумпеллит, хлорит, актинолит, кварц)	<u>2.82-</u> <u>2.93</u> 2.88	<u>0.63-</u> <u>0.88</u> 0.73	<u>5.8-</u> <u>6.6</u> 6.1	<u>67-90</u> 74	<u>84-116</u> 95	5/20
	Бухта Моховая	Метабазальты (эпидот, хлорит, актинолит, кварц)	<u>2.84-</u> <u>2.90</u> 2.88	<u>0.72-</u> <u>8.33</u> 3.26	<u>5.5-</u> <u>6.5</u> 5.8	<u>66-86</u> 73	<u>73-124</u> 96	3/6
	Никольская сопка	Кремнистые породы (кварц, серицит, эпидот)	<u>2.60-</u> <u>2.70</u> 2.65	<u>0.17-</u> <u>0.20</u> 0.19	<u>5.5-</u> <u>5.9</u> 5.7	<u>51-80</u> 66	<u>22-36</u> 29	2/4
N <sub>1</sub>	Малые Лагерные	Андезибазальты (ломонит, корренсит, альбит)	<u>2.38-</u> <u>2.57</u> 2.48	<u>15.1-</u> <u>21.3</u> 18.7	<u>4.0-</u> <u>5.3</u> 4.5	<u>28-56</u> 39	<u>52-145</u> 91	3/8
	Средние Лагерные (СЗ часть)	Андезибазальты слабоизмененные	<u>2.51-</u> <u>2.62</u> 2.56	<u>33.8-</u> <u>37.8</u> 35.9	<u>4.1-</u> <u>5.1</u> 4.6	<u>33-43</u> 38	<u>71-101</u> 83	2/7
	Средние Лагерные (ЮВ часть)	Андезибазальты (цеолиты, селадонит, карбонаты, корренсит)	<u>2.36-</u> <u>2.51</u> 2.48	0.59- 3.54 1.86	<u>3.3-</u> <u>4.0</u> 3.6	<u>22-29</u> 26	<u>38-72</u> 56	2/6

Примечание:  $\rho$  – плотность,  $\chi$  – магнитная восприимчивость,  $V_p$  – скорость продольных волн,  $E_y$  – модуль упругости,  $R_c$  – прочность на одноосное сжатие.

Исследование магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) показало, что большая часть миоценовых пород, измененных в условиях ЦФ, обладает относительно высокими

значениями  $\chi$ , причем наблюдается четкая зависимость от степени измененности. Для слабо измененных андезибазальтов с сохранным титаномагнетитом характерны наиболее высокие значения ( $\chi=34-38 \cdot 10^{-3}$ СИ). С увеличением измененности пород разложение титаномагнетита и образование вторичных минералов с  $Fe^{3+}$  (эпидот, селадонит, гётит, гематит и пр.) приводят к снижению  $\chi$  до  $0.6-3.5 \cdot 10^{-3}$ СИ. Большинство меловых вулканитов, измененных в условиях ППФ метаморфизма, не магнитны.

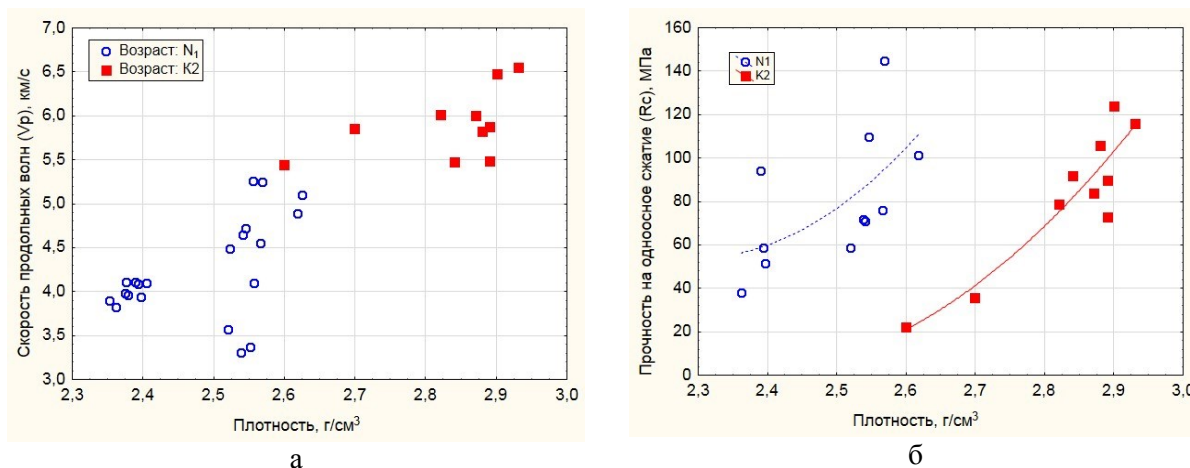


Рис. 2. Сравнительная характеристика свойств меловых и миоценовых вулканитов. а – зависимость скорости упругих волн от плотности, б – зависимость прочности от плотности.

### Заключение

Вулканиты мелового и миоценового возраста, слагающие береговую зону вдоль Авачинской губы, существенно различаются по составу, характеру и степени вторичных изменений и петрофизическим свойствам. Меловые вулканиты характеризуются более высокими значениями упруго-плотностных свойств по сравнению с миоценовыми породами. Напротив, магнитная восприимчивость максимальна у слабо измененных миоценовых андезибазальтов и снижается на порядок у меловых пород, что связано с разложением титаномагнетита и темноцветных минералов при метаморфизме. Обнаруженная разница в свойствах пород обусловлена, во-первых, особенностями первичного состава, во-вторых, различной стадией метаморфизма (ЦФ у миоценовых и ППФ у меловых пород) и степенью измененности.

### Список литературы

1. Блюмкина М.Е., Жукова Е.А. Петрофизические свойства меловых вулканогенных пород Авачинской бухты (Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню Вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 44-46.
2. Савельев Д.П., Палечек Т.Н., Портнягин М.В. Кампанские океанические кремнисто-вулканогенные отложения в фундаменте восточного камчатского вулканического пояса // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. №2. С. 46-54.
3. Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Янакиева Д.Я. и др. Агаты в метавулканитах. Спец. выпуск журнала "Вестник РФФИ". 2014. 71 с.
4. Шеймович В.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации 1:200000. Серия Южно-Камчатская. Листы N-57-XXI (Северные Коряки), N-57-XXXVII (Петропавловск-Камчатский), N-57-XXXIII (Сопка Мутновская): Объясн. зап. М. 2000. 302 с.