

Проявление активизаций вулканов Авачинской группы в изменениях уровня воды в скважине Е-1

Г.Н. Копылова, С.В. Болдина, Е.Г. Чубарова

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: gala@emsd.ru

Введение

В состав Авачинской группы вулканов (полуостров Камчатка) входят два действующих вулкана – Авачинский и Корякский, расположенные на расстояниях 25 и 35 км к северу от столицы Камчатского края – г. Петропавловска-Камчатского.

Средняя повторяемость пароксизмальных извержений влк. Авачинский составляет примерно 35 лет, последнее такое извержение было в 1945 г., т. е. 75 лет тому назад. 12-26 января 1991 г. произошло эксплозивно-эффузивное извержение вулкана, в результате которого кратер был запечатан лавовой «пробкой» (<http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/avach.html>). В последние годы активность влк. Авачинский проявляется в фумарольной деятельности в районе кратера и в слабой приповерхностной сейсмичности. В течение 2012-2016 гг. температура Западной фумаролы повышалась с 370 до 819 °С; при этом температурный режим и химический состав других фумарол в области кратера существенно не изменялись [4].

По данным КФ ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>), в течение ноября 2019 – февраля 2020 гг. происходила активизация влк. Авачинский в форме усиления сейсмичности в районе конуса и свечения в западной части кратера.

Последними активизациями влк. Корякский были эксплозивные извержения 1956-1957 гг. и в конце декабря 2008 – в первой половине 2009 гг. [5]. Последнее извержение предварялось мощным роем землетрясений с $K_s = 3.1-8.3$, который начался в марте 2008 г. и развивался в пределах субмеридиональной зоны, включающей постройку вулкана.

Расположение двух действующих вулканов вблизи гг. Петропавловск-Камчатский и Елизово, в которых сосредоточена большая часть населения Камчатского края, требует пристального внимания за развитием их активности, включая прогнозирование извержений и других типов активизаций на основе данных комплексного геофизического и геохимического мониторинга, проводимого организациями РАН на Камчатке.

В 12 км к ЮЗ от влк. Корякский и в 20 км к З от влк. Авачинский находится скважина Е-1, в которой КФ ФИЦ ЕГС РАН с 1987 г. проводит наблюдения за уровнем воды в целях поиска гидрогеодинамических предвестников сильных землетрясений. Характеристика скважины, оборудования и данных наблюдений приводится в [1, 2]. В [3] дано описание двух типов гидрогеодинамических предвестников землетрясений – ГП_I и ГП_II, проявляющихся в изменениях уровня воды в этой скважине. Примеры их проявления см. рис.

В настоящей работе рассматриваются выделенные в изменениях уровня тренды повышения давления подземной воды, которые развиваются в течение 3-4 лет и могут предшествовать и сопровождать активизации вулканов Авачинский и Корякский. Такие тренды рассматриваются авторами в качестве показателей образования и развития тектоно-магматических источников увеличения давления подземных вод в недрах Авачинской вулканотектонической депрессии и, соответственно, возможных предвестников вулканических извержений.

В [2] по данным наблюдений в скв. Е-1 дано детальное описание роста давления в период подготовки фреато-магматического извержения влк. Корякский в 2008-

2009 гг. с оценками амплитуды повышения давления и величины объемной деформации сжатия водовмещающих пород во время действия тектоно-магматического источника.

В настоящей работе основное внимание уделяется развитию аномального повышения уровня воды в скв. Е-1 с мая 2018 г. по настоящее время (февраль 2020 г.). 28 ноября 2019 г. на основании диагностики долговременного тренда роста давления подземной воды было сделано заключение о возникновении магматического источника в районе Авачинской группы вулканов и возможном извержении. Соответствующие заключения были переданы в экспертные советы по прогнозу землетрясений и извержений вулканов, в т. ч. в Камчатский филиал Российского экспертного совета (КФ РЭС) и в общий Совет ИВИС ДВО РАН и КФ ФИЦ ЕГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов.

Параметры трендов повышения давления подземных вод в районе скважины Е-1 в связи с извержениями вулканов Авачинский и Корякский

В таблице приводятся характеристики трендов роста давления подземной воды и величины объемной деформации сжатия водовмещающих пород в районе скв. Е-1, предшествовавших двум извержениям вулканов Авачинской группы.

Оценка величин объемной деформации водовмещающих пород $\Delta\varepsilon$, проводилась по формуле $\Delta\varepsilon = \Delta h/A_v$, где Δh – амплитуда повышения уровня воды, см; $A_v = 0.015 \text{ см}/10^{-9}$ – величина деформометрической чувствительности уровня воды по отношению к объемной деформации [2].

Таблица. Параметры трендов повышения давления подземной воды по данным наблюдений в скважине Е-1 в связи с извержениями вулканов Авачинской группы

Время развития тренда повышения уровня; годы, месяцы (сутки)	Амплитуда повышения уровня, м / средняя скорость повышения, см/сут	Амплитуда роста давления подземной воды, бар	Объемная деформация сжатия водовмещающих пород $\Delta\varepsilon$, 10^{-6} / скорость, сут^{-1}
Эксплозивно-эффузивное извержение влк. Авачинский 12-26 января 1991 г.			
янв. 1987 – янв. 1991 гг., 3 года 1 мес. (≥ 1125 сут.)	$\geq 0.45 / 0.04$	≥ 0.045	$\geq 3.0 / 2.7 \cdot 10^{-9}$
Гидротермально-магматическое извержение влк. Корякский в декабре 2008 – 2009 гг.			
июнь 2006 – дек. 2009 гг., 3 года 6 мес. (1260 сут.)	1.22 / 0.10	0.122	8.1 / $6.4 \cdot 10^{-9}$

Точное начало развития тренда повышения уровня воды в скв. Е-1 перед извержением влк. Авачинский не известно, т. к. данные наблюдений на скважине с дискретизацией 1 сутки имеются с января 1987 г. Поэтому приведенные в таблице параметры времени развития тренда, его амплитуды и амплитуды повышения давления, а также величины объемной деформации сжатия водовмещающих пород, следует рассматривать в качестве минимальных оценок. Кроме этого, в течение 1987-1994 гг. система измерений уровня воды и атмосферного давления не обеспечивала необходимую чувствительность для корректной компенсации баровариаций в изменениях уровня воды [1].

В случае извержения влк. Корякский, приведенные в таблице параметры тренда повышения уровня воды, оценки роста давления и объемного сжатия водовмещающих пород являются более надежными благодаря использованию цифрового оборудования для равномерных наблюдений, обеспечивающего достаточную чувствительность 10-минутных измерений уровня воды и атмосферного давления [2].

Величина деформации объемного сжатия водовмещающих пород $\Delta\varepsilon = 8.1 \cdot 10^{-6}$ (табл.) находится в удовлетворительном соответствии с расчетными величинами $\Delta\varepsilon = (4.1-15) \cdot 10^{-6}$ по модели квазистатических изолированных условий возникновения

источника объемного сжатия с использованием данных по упругим свойствам водовмещающих пород, вскрытых скважиной Е-1 [2].

Как показано в [2], дополнительными признаками приближающейся вулканической активизации в виде усиления локальной сейсмичности и извержения также являются: 1 – увеличение скорости восходящего тренда уровня воды до 0.15-0.20 см/сут; 2 – ослабление чувствительности скважины к процессам подготовки сильных ($M_w \geq 5.0$) субдукционных землетрясений в радиусе до 350 км.

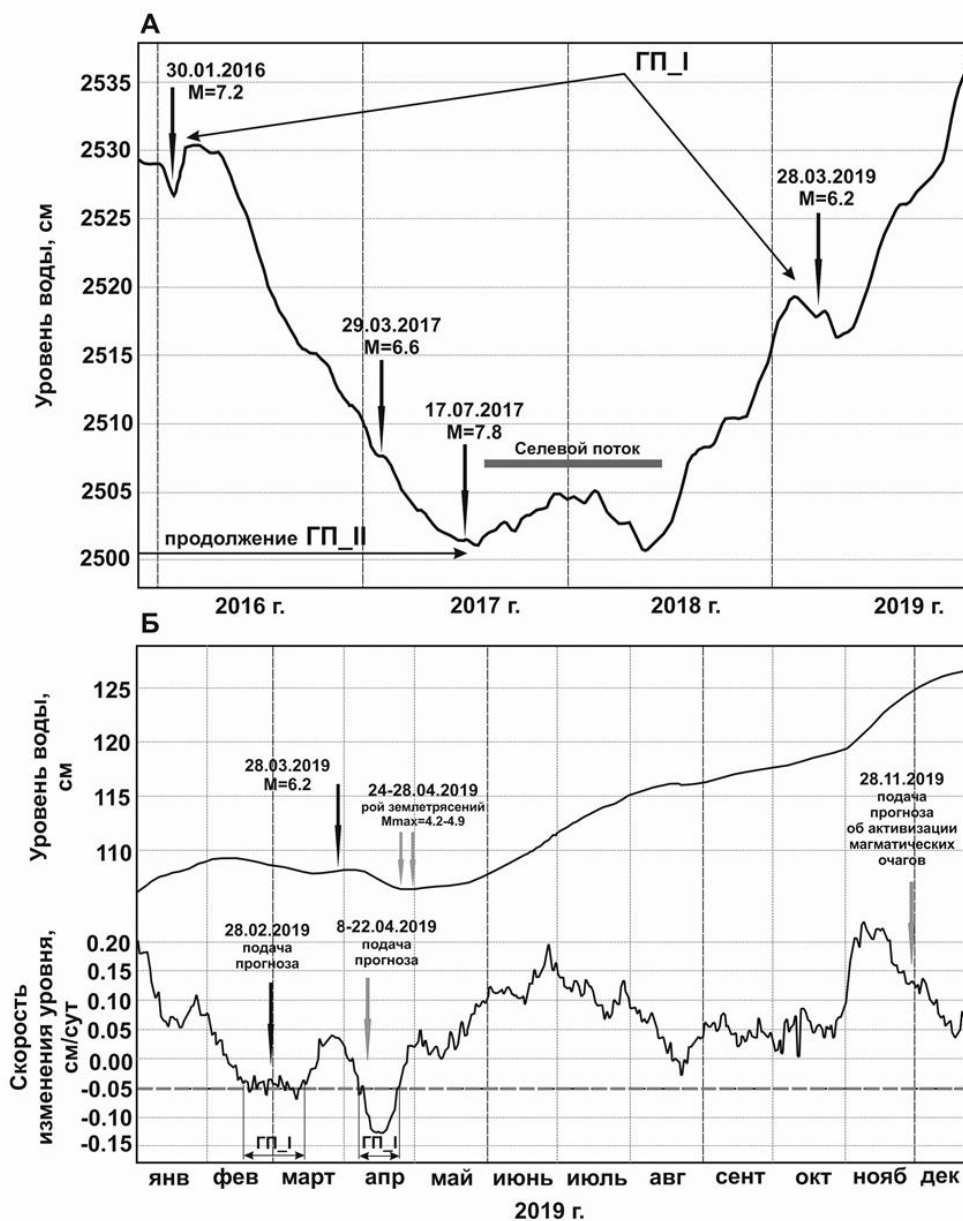


Рис. Изменения уровня воды в скважине Е-1: А – в 2016-2019 гг. с примерами проявления гидрогеодинамических предвестников землетрясений ГП_I и ГП_II [3], повышения уровня при нагрузке от селевого потока 24.07.2018 г. и возможного возникновения магматического источника в районе Авачинской группы вулканов (июнь 2018 – декабрь 2019 гг.); стрелками показаны сильные землетрясения, в т. ч. события 30.01.2016 г. и 28.03.2019 г., которые были успешно спрогнозированы в реальном времени (по оценкам КФ РЭС); Б – изменения уровня и его суточной скорости в 2019 г.: стрелками над верхним графиком показаны землетрясения, стрелками над нижним графиком – даты подачи прогнозов в экспертные советы; горизонтальная пунктирная линия – пороговое значение суточной скорости для выделения ГП_I.

Рост давления подземной воды в скв. Е-1 с июня 2018 по февраль 2020 гг.

На рисунке представлены изменения уровня воды в скв. Е-1 в 2016-2019 г. (А) и в 2019 г. (Б), а также их прогностическая интерпретация, сделанная в режиме реального времени и ретроспективно.

Устойчивое повышение уровня воды в скв. Е-1 началось в июне 2018 г. На начало февраля 2020 г. продолжительность повышения уровня составила 1 год 8 мес. (600 сут.). Амплитуда повышения 42 см водяного столба эквивалентна росту давления 0.042 бар. Средняя скорость повышения уровня составляла 0.06 см/сут. Величина деформации объемного сжатия водовмещающих пород достигла $2.8 \cdot 10^{-6}$ при средней скорости $4.7 \cdot 10^{-9}$ сут⁻¹. Повышенные величины скорости восходящего тренда уровня воды (≥ 0.2 см/сут) наблюдались в ноябре 2019 г. Признаки ослабления чувствительности скважины к процессам подготовки сильных субдукционных землетрясений не обнаружены.

Заключение

На основе многолетних данных урвнмерных наблюдений в скважине Е-1 представлен новый способ слежения за состоянием действующих вулканов Авачинской группы. В качестве признака (предвестника) вулканических активизаций в виде извержений, повышения локальной сейсмичности и фумарольной деятельности рассматривается длительный рост давления подземной воды с повышенной скоростью в течение первых лет.

По данным урвнмерных наблюдений и их интерпретации в рамках модели статически изолированного отклика уровня воды на возникновение источника объемного сжатия водовмещающих пород в ноябре 2019 г. было сделано заключение о вулканической активизации в районе Авачинской группы и возможном извержении.

С учетом текущих данных КФ ФИЦ ЕГС РАН о развитии сейсмичности и фумарольной деятельности, можно предполагать, что наиболее вероятным кандидатом на извержение в течение ближайших месяцев – первых лет является влк. Авачинский.

Продолжение наблюдений за вариациями уровня воды в скважине Е-1 с использованием дополнительных прогностических признаков – увеличения скорости повышения уровня воды и ослабления чувствительности скважины к процессам подготовки сильных землетрясений, возможно, позволит уточнить время извержения влк. Авачинский.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-05-00337).

Список литературы

1. *Копылова Г.Н.* Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39-52.
2. *Копылова Г.Н., Болдина С.В.* О связи изменений уровня воды в скважине Е-1, Камчатка, с активизацией вулкана Корякский в 2008-2009 гг. и сильными ($M \geq 5$) землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2012. № 5. С. 41-54.
3. *Копылова Г.Н., Болдина С.В.* Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977-2017 гг. // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 3-20.
4. *Малик Н.А., Зеленский М.Е., Округин В.М.* Температура и состав фумарол вулкана Авачинский (Камчатка) в 2013-2016 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. Вып. 33. С. 21-33.
5. *Селиверстов Н.И.* Активизация вулкана Корякский на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 7-9.