



УДК 551.324

А. А. Кузьмина, Т. М. Маневич, С. Б. Самойленко

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: lav217@kscnet.ru*

## Химический состав ледниковых вод Авачинской группы вулканов (Камчатка)

В работе приводятся результаты химического анализа воды из ручьёв, вытекающих из ледников Авачинской группы вулканов. Показано, что ледниковые воды относятся к ультрапресным водам с минерализацией в диапазоне 6 – 50 мг/л. Доминирующие ионы: кальций и сульфат. Кроме того, исследовано изменение минерализации и химического состава ледниковых вод Корякского вулкана в течение трёх лет после извержения 2008 – 2009 гг.

### Введение

В настоящее время на склонах вулканов Авачинской группы залегают 27 ледников общей площадью 23,72 км<sup>2</sup>. Ледники представлены девятью морфологическими типами и расположены как на склонах активных, так и потухших вулканов.

В формировании состава талого стока с ледников, залегающих на склонах вулканов, участвуют следующие факторы: атмосферные осадки, испарение с поверхности ледников, поверхностная морена, а в районах активного вулканизма — ещё и отложение на поверхности ледника твёрдого изверженного материала и аэрозоли фумарольной деятельности (рис. 1).

Цель работы — выявить особенности химического состава воды, вытекающей из ледников Авачинской группы и проследить изменения в составе вод Корякского вулкана в связи с извержением 2008–2009 гг. Данная работа является частью ис-

следований современного гляциального комплекса Авачинской группы вулканов.

### Методы

Пробы воды отбирались в августе 2010 г. из ручьёв, вытекающих из-под ледников Авачинской группы вулканов. Пробы воды из ледниковых ручьёв Корякского вулкана отбирались в 2009, 2010 и 2012 гг. в месте выхода ручья из-под фронта ледника.

Исследование химического состава ледниковых вод проводился в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН. Анализ проводился потенциометрическими, титриметрическими, фотометрическими, атомно-абсорбционными методами. Исследование электропроводности проводилось в полевых условиях портативным кондуктиметром.

### Результаты и обсуждение

По полученным результатам можно сказать, что в целом исследованные образцы воды относятся к слабо-кислым и близнеитральным, ультрапресным сульфатно-кальциевым водам. Минерализация вод находится в диапазоне 6–50 мг/л, pH 5,14–6,7.

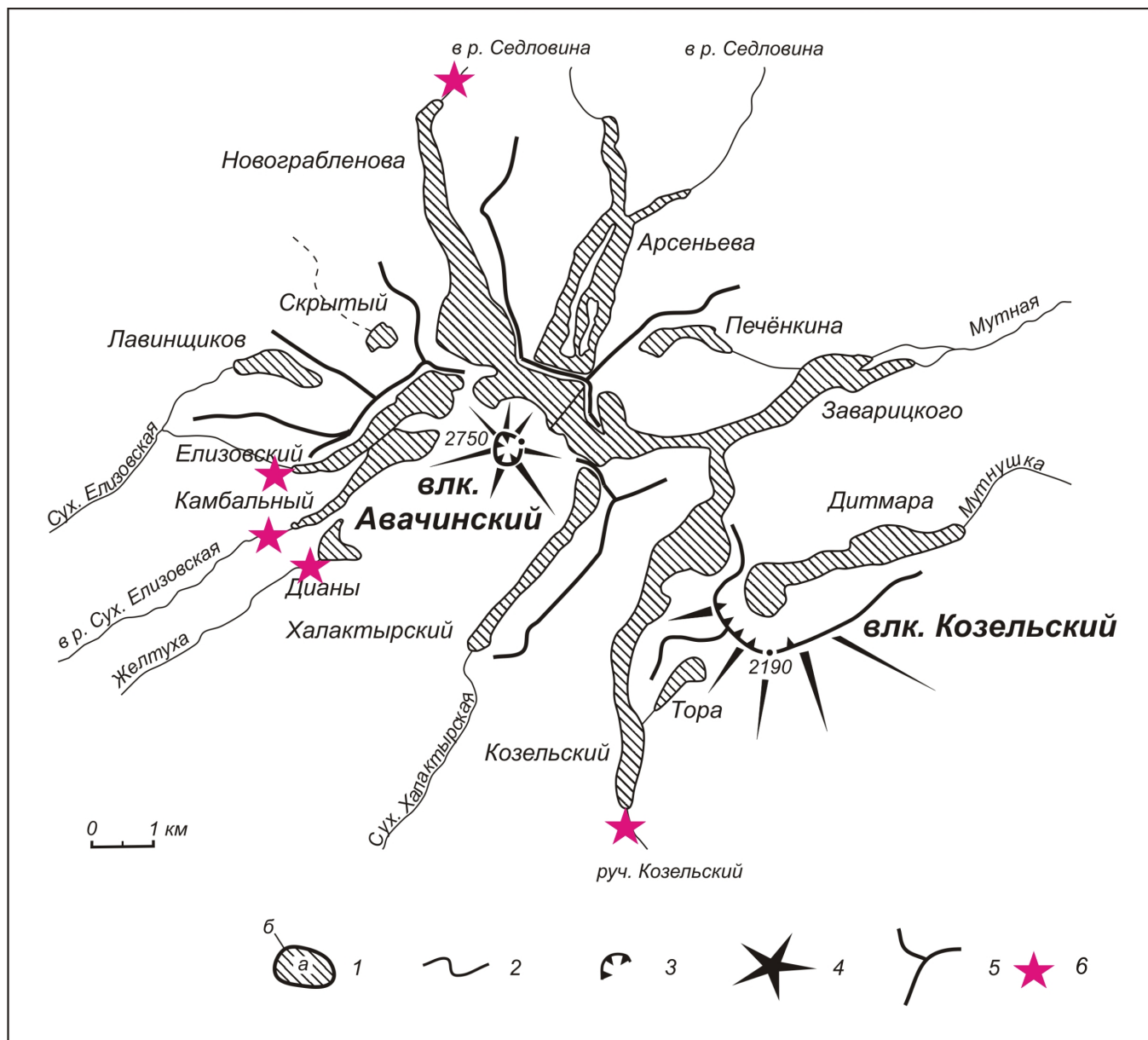
**В Авачинский узел оледенения** входят вулканы Авачинский и Козельский, соединённые между собой седловиной на высоте 1930 м. Две системы кольцевых разломов объединяют эти вулканы в единый массив. Здесь существуют 13 ледников общей площадью 14,18 км<sup>2</sup>. Схема расположения ледников Авачинского узла и точки отбора приведены на рис. 2. Химический состав представлен в табл. 1.

**Ледник Новограбленнова** получает питание в атрио Авачинского вулкана и стекает в долину р. Седловина по северо-западному склону.

**Ледник Елизовский** берёт начало в атрио, большую часть своей длины прижимается к внутренней стенке атрио с юго-западной стороны и только фронтальная часть выходит в долину р. Сухая Елизовская.



**Рис. 1.** Вулкан Корякский во время последнего извержения. Август 2009 г.



**Рис. 2.** Схема расположения ледников Авачинского узла оледенения и точки отбора проб: 1 — ледники; 2 — водотоки; 3 — кратер; 4 — вулканическая постройка; 5 — гребни; 6 — точки отбора проб.

**Ледник Камбальный** залегает на юго-западном склоне конуса Авачинского вулкана и выходит в небольшую долину. Его талый сток является притоком р. Сухая Елизовская.

**Ледник Дианы** - самый малый ледник из исследованных в Авачинском узле, расположен на юго-западном подножии Авачинского вулкана. В отличие от прочих описываемых в этой работе ледников, является склоновым и деградирующим.

Ледники покрыты поверхностной мореной различной мощности. Обломочный материал попадает на них как с крутых осыпных склонов, так и во время извержений. Он представлен типичными для вулканов Авачинской группы породами — андезитами и андезито-базальтами серо-красного цвета

различных оттенков. Поскольку области питания вышеупомянутых ледников расположены вблизи кратера Авачинского вулкана, мы предполагали, что они могут испытывать влияние современной вулканической деятельности. Гидрохимический анализ выявил повышенную минерализацию талых вод ледников Елизовский и Камбальный, берущих начало непосредственно на конусе вулкана, и повышенное содержание отдельных ионов (серы, хлора и фтора) во всех ледниках, питающихся вблизи кратера. Несмотря на общую низкую минерализацию ледниковых вод и связанную с этим невысокую точность измерения концентраций, указанные отличия являются статистически значимыми и подтверждают влияние вулканической активности на состав ледниковых вод. Вклад в минерализацию вносит

Таблица 1. Химический состав талого стока ледников Пиначевского хребта и

	Аагский- II	№ 271	Новограб- ленова	Елизов- ский	Камбаль- ный	Дианы	Козель- ский
pH	5,14	5,88	6,65	6,47	6,58	5,99	6,06
Cl <sup>-</sup>	0,67	0,06	0,6	0,73	1,07	1,05	0,32
F <sup>-</sup>	0,03	0,1	0,23	0,2	0,25	0,05	0,04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,6	1,22	6,1	6,1	9,15	0	6,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,35	0,11	0,21	0,18	0,35	0,61	0,02
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	31,66	0,66	3,94	13,93	9,35	11,31	1,23
Na <sup>+</sup>	1,6	0,2	2,5	3,15	3,5	1,56	1,6
K <sup>+</sup>	0,25	0,12	0,25	0,27	0,27	0,14	0,27
Ca <sup>2+</sup>	13,63	0,2	2	5,21	3,61	5,21	2
Mg <sup>2+</sup>	2,19	0,72	1,46	0,97	1,46	0,73	0,24
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,05	0,15	0,15	0,01	0,1	0,1	0,1
Минера- лизация	51,39	3,44	18,84	31,99	29,01	21,46	12,98

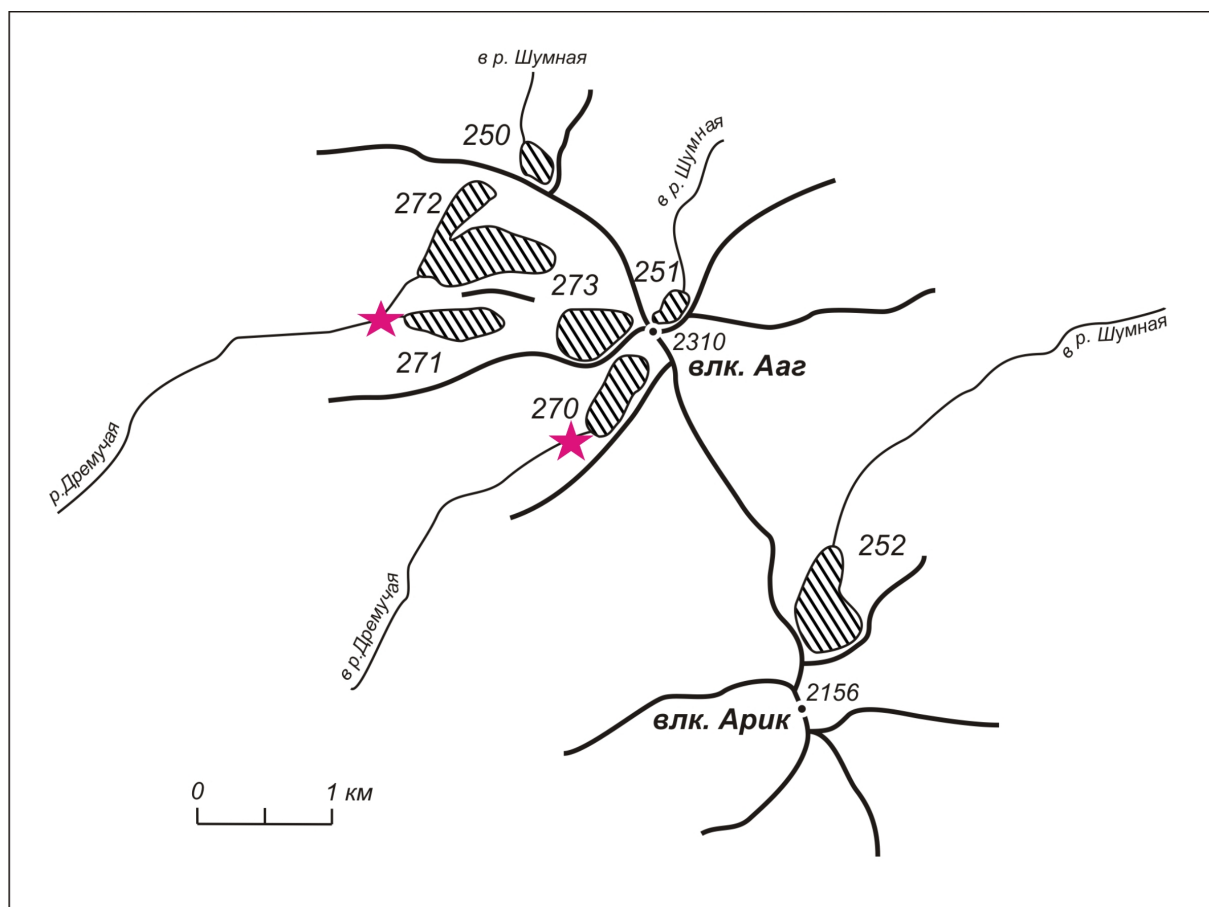


Рис. 3. Схема расположения ледников Пиначевского хребта и точки отбора проб. Условные обозначения на рис. 2.

как непрерывная фумарольная активность вулкана, наблюдающаяся на протяжении всего последнего столетия, так и отложения шлака и лав последних извержений (1909, 1926, 1938, 1945 и 1991 гг.).

**Козельский ледник** стекает с седловины между вулканами Авачинский и Козельский. Является репрезентативным ледником для Авачинского узла оледенения и был детально исследован

в 1970 – 1980-е годы [1]. Однако химический состав талых вод этого ледника в указанной работе не приводится.

При том, что Козельский ледник расположен относительно недалеко от кратера Авачинского вулкана, и практически весь покрыт шлаком извержения 1945 г., минерализация его талых вод не отличается от среднего показателя по группе. Можно лишь отметить повышенное содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{K}^+$ .

Несколько ниже современного фронта ледника находятся выходы грунтовых вод, состав которых коррелирует с составом талого стока ледника Козельский. Это указывает на влияние подземного стока на состав ледникового поверхностного стока.

**Пиначевский хребет** представляет собой вулканический массив, состоящий из вулканов Ааг (2310 м) и Арик (2156 м), который замыкает Авачинскую группу с северо-запада.

В настоящее время на склонах Пиначевского хребта залегает 7 ледников общей площадью 1,18 км<sup>2</sup>, из них 6 ледников расположены на вулкане Ааг [5]. Пробы воды были отобраны из двух ручьёв, вытекающих из-под ледников Аагский II и №271. Схема расположения ледников Пиначевского хребта и точки отбора приведены на рис. 3. Химический состав представлен в табл. 1.

**Ледник Аагский II.** Расположен на юго-западном склоне вулкана Ааг, принадлежит бассейну р. Авачи, питает р. Дремучую. Занимает хорошо выработанный плейстоценовым оледенением кар, стенки которого возвышаются над поверхностью льда на 100–150 м. Породы, слагающие стенки кара, соответственно, вулкана имеют жёлтый цвет, что указывает на гидротермальную деятельность в прошлом. На момент нашего посещения в августе 2010 г. поверхность сезонного снега и уже обнажённого льда местами загрязнена желтовато-серым песком, осыпавшимся со стенок кара.

По результатам химического анализа воду, вытекающую из этого ледника, можно определить как слабокислую сульфатно-кальциевую, а её минерализация является максимальной для исследованных ледников Авачинской группы – 51,4 мг/л.

**Ледник № 271** залегает на юго-западном склоне вулкана Ааг.

На момент нашего посещения весь ледник был покрыт сезонным снегом, на поверхности встречались отдельные обломки скальных пород. По химическому составу эта вода нейтральная гидрокарбонатно-сульфатная магниевая, а её минерализация оказалась наименьшей из отобранных проб в Авачинской группе – 3,4 мг/л.

### Ледники Корякского вулкана

Вулкан Корякский представляет собой стратовулкан высотой 3456 м, с вершинным кратером, открытым на запад. Он расположен в центре Авачинской группы вулканов и является активным. Последнее извержение вулкана в 2008–2009 гг., пред-

ставляло собой мощную паро-газовую эмиссию, сопровождавшуюся умеренными пепловыми выбросами (рис. 1). Пеплы распространялись преимущественно в восточном направлении от вулкана на расстояние до 680 км [2] и имели резургентный состав. В августе 2009 г., по наблюдениям авторов, все ледники Корякского вулкана были покрыты слоем пепла различной мощности, а сохранившиеся снежники представляли собой перемешанную массу из снега с пеплом. Например, в районе фронта ледника Корякский-V в понижениях рельефа наблюдался слой тонкого пепла мощностью более 3 см.

По валовому химическому составу пеплы этого извержения относятся к среднекальциевым известково-щелочным андезитобазальтам – андезитам, при этом намечается некоторая дифференциация пеплов в сторону увеличения кислотности с удалением от центра извержения. Важной особенностью состава пеплов являются весьма высокие содержания серы: 1,8–2,85%, наибольшее значение отмечается в пробах, отобранных вблизи к центру активности [3].

Исследование ледниковых вод Корякского вулкана проводилось с 2009 г. по 2012 г. с целью выявить химический состав, а также проследить возможные изменения в составе в связи с последним извержением.

Схема расположения ледников Корякского вулкана и точки отбора приведены на рис. 4. Результаты химического анализа и измерений проводимости талого стока трёх ледников приведены в табл. 2 и 3.

**Ледник Корякский-II** вытекает из кратера Корякского вулкана по северо-восточному барранкосу и является самым длинным ледником Авачинской группы. В целом, талый сток ледника, как и других ледников группы, является близнеитральным. Так, в 2009–2010 гг. талый сток являлся сульфатно-гидрокарбонатным кальциево-натриевым, а в 2012 г. соотношение ионов изменилось: в анионном составе преобладал хлор (его содержание увеличилось в несколько раз), а в катионном – кальций и магний.

**Ледник Корякский-IV** берёт начало на вершине вулкана и стекает по барранкосу на северо-восточном склоне.

В 2009 г. (год извержения) талый сток имел максимальную зафиксированную минерализацию из всех ледниковых вод Авачинской группы вулканов – 105 мг/л, (тем не менее, эта вода так же относится к ультрапресным). При этом в 2009 г., вода этого ледника имела кислую рН (4,11) и по химическому составу относилась к сульфатно-хлоридной кальциевой.

В 2010–2012 гг. минерализация уменьшилась на порядок и составляла 12–20 мг/л, в анионном составе также сохранилось преобладание ионов сульфата. Изменения состава талого стока, скорее всего, связаны с отложением пепла на снежный покров на поверхности ледника в течение 2008–2009

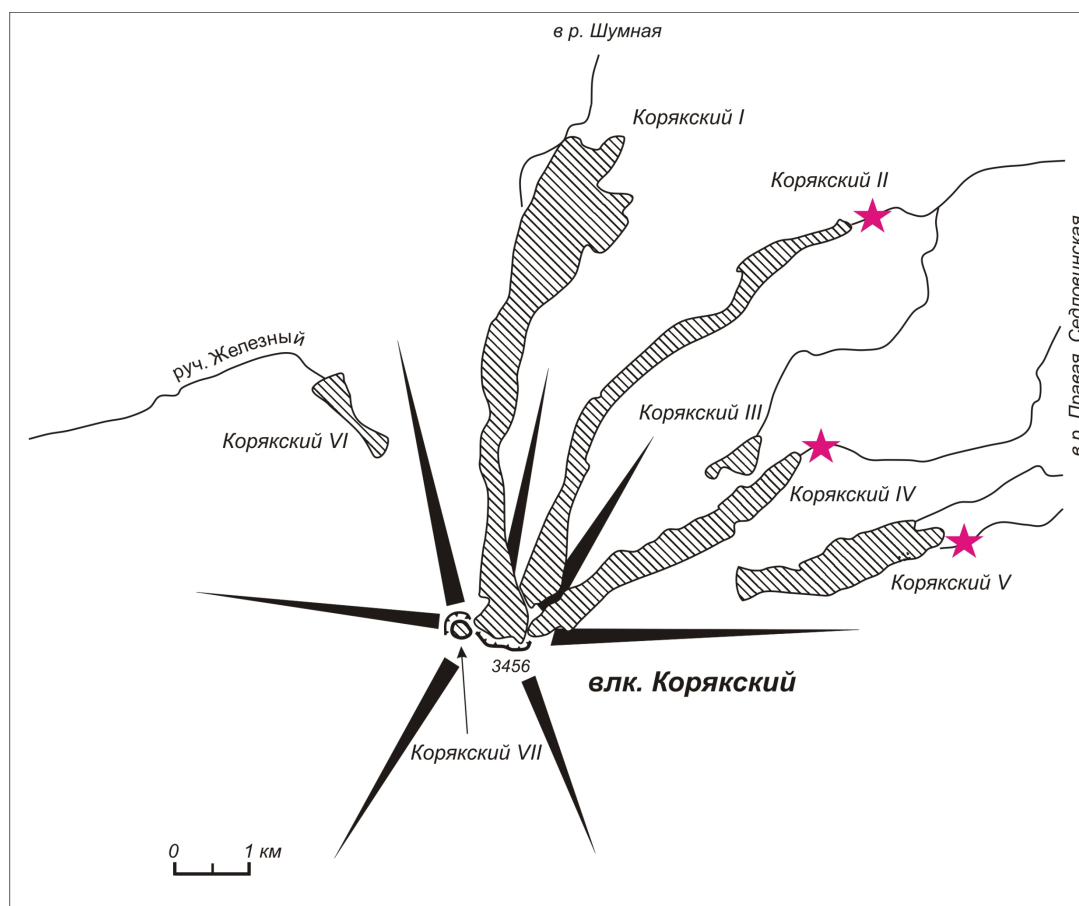


Рис. 4. Схема расположения ледников Корякского вулкана и точки отбора проб. Условные обозначения на рис. 2.

Таблица 2. Химический состав талого стока ледников Корякского вулкана в разные годы, мг/л

	Корякский-II			Корякский-IV			Корякский-V		
	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2009	2010 г.	2012 г.
pH	6,7	6,7	6,4	4,11	6,4	5,92	6	6	6,13
Cl <sup>-</sup>	1,66	0,82	7,32	23,03	0,61	3,66	1,16	0,53	7,32
F <sup>-</sup>	0,21	0,05	0,3	0,67	0,07	0,3	<0,1	0,03	0,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,76	6,1	1,45	<1,22	1,22	1,14	<1,22	1,22	1,12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,41	0,33	<1,0	<0,1	0,04	<1,0	<0,1	0,13	<1,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9,9	7,53	5,64	48,82	4,47	2,97	11,42	6,76	3,36
Na <sup>+</sup>	2,61	2,85	<0,23	2,98	2,34	<0,23	1,58	1,6	<0,23
K <sup>+</sup>	0,37	0,3	<0,19	1,14	0,27	<0,19	0,24	0,17	<0,19
Ca <sup>2+</sup>	5,1	4	3,61	26,31	2	1,6	5,62	2	1,6
Mg <sup>2+</sup>	0,64	0,24	1,7	1,62	0,48	1,94	0,62	2,2	2,92
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,1	<0,05	0,43	0,11	<0,05		0,2	<0,05
Минерализация	30,66	22,32	20,02	105	12,8	19,8	20,64	14,84	16,62

балансового года в процессе извержения Корякского вулкана.

**Ледник Корякский-V** залегает в барранкосе на восточном склоне.

В период наблюдений 2009–2012 гг. в химическом составе ледниковых вод существенных из-

менений не зафиксировано. Вода характеризуется слабокислым-близнеутральным pH, ультрапресным составом. Преобладающие ионы — это сульфат и кальций.

В табл. 3 приводятся результаты измерения электропроводности талого стока ледника в различные



**Таблица 3.** Изменение минерализация талого стока ледников Корякского вулкана, связанное с извержением вулкана в 2008-2009 гг.

год	Корякский-II	Корякский – V	Корякский-IV
2008	1,763	0,723	0,444
2009	3,35	3,87	15,3
2010	3,4	2,5	2
2012	2,86	1,17	3,47

годы. Здесь мы видим увеличение показателя в два раза в 2009 г. (год извержения) по сравнению с предыдущим годом и ожидаемое снижение в последующие годы.

### Обсуждение результатов

Воды ледников Авачинской группы относятся к слабо-кислым и близонейтральным, ультрапресным сульфатно-кальциевым водам.

Влияние современной фумарольной деятельности Авачинского вулкана на состав ледниковых вод выявлено в пределах погрешности используемых методов, но не является ярко выраженным.

Извержение Корякского вулкана отразилось на составе талого стока ледников лишь в год извержения (2009 г.), причём наибольшие изменения зарегистрированы на леднике Корякский-VI. Примечательно, что извержение практически не повлияло на воды ледников Корякский-VI и Корякский-II, притом, что они расположены ближе к центру извержения, чем Корякский-VI.

Можно сделать вывод, что повышение минерализации в год извержения связан, в первую очередь с таянием сезонного снега. Изменения состава льда могут отразиться на составе талых вод лишь по мере стекания загрязнённого льда в область абляции. Таким образом, мы ожидаем повышения минерализации талых вод ледников Корякского вулкана спустя несколько лет после извержения. Если удастся зафиксировать этот рост минерализации в будущем, возможно сделать оценку скорости движения ледников.

### Список литературы

1. Виноградов В. Н., Муравьев Я. Д. Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 120 с.
2. Гирина О. А., Маневич А. Г., Мельников Д. В., Нуждаев А. В., Ушаков С. В., Коновалова О. А. Активность вулкана Корякский с октября 2008 г. по октябрь 2009 г. по данным KVERT // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога. 30–31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2010. С. 15–23.
3. Максимов А. П., Аникин Л. П., Вергасова Л. П., Овсянников А. А., Чубаров В. М. Пеплы извержения Корякского вулкана (Камчатка) в 2009 г.: особенности состава и генезис // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011 г. №2 (18). С. 73–85.
4. Маневич Т. М., Самойленко С. Б. Ледники Корякского вулкана // Лёд и снег. 2012. № 3(119). С. 25–30.
5. Маневич Т. М., Самойленко С. Б. Современное оледенение Авачинской группы вулканов // Материалы X региональной молодёжной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский, 2012 г.