

*Грищенко М.Ю.^{1, 2}, Белозёров Е.В.¹, Карашова М.И.¹, Корнилова Е.Д.¹,
Максаков Н.А.¹, Непомнящая А.В.³, Петров Д.В.³*
m.gri@geogr.msu.ru

**ИЗУЧЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА,
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОЗЕРА ГОРЯЧЕЕ (ОСТРОВ КУНАШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)**

¹ Московский государственный университет, географический факультет

² Государственный природный заповедник "Курильский"

³ СПбГУ, Институт наук о Земле

Краткая географическая характеристика. Вулкан Головнина расположен на территории заповедника "Курильский" на острове Кунашир, самом южном острове Большой Курильской гряды. Вулкан Головнина - один из двух вулканов кальдерного типа на Курилах. Как и другие три вулкана острова Кунашир, он является действующим. Кальдера вулкана Головнина имеет диаметр 4,5 км и глубину около 250 м. В ней находятся два озера: озеро Горячее размером 2,5×1 км занимает её северную половину; озеро Кипящее размером 200×300 м занимает кратерное понижение в центре кальдеры. Вопреки названиям озёр, температура воды в озере Горячее летом редко поднимается выше +25°C - несмотря на большое количество газогидротерм и термальных источников, оно подпитывается и очень мощными выходами подземных пресных вод; температура поверхности озера Кипящее составляет в среднем около +30°C, лишь отдельные участки прогреты до 90°C благодаря газогидротермам. Сток из кальдеры вулкана Головнина осуществляется по реке Озёрная, текущей к Охотскому морю по выработанной в западном борту кальдеры глубокой долине. С вулканом Головнина связано несколько экструзивных куполов и сольфатарных полей. К двум крупным экструзивным куполам в центре кальдеры - Центральному Восточному и Центральному Западному - приурочены крупнейшие одноимённые сольфатарные поля вулкана. Ещё один крупный экструзивный купол - Внешний - находится к северу от кальдеры, его склоны спускаются к Охотскому морю. К его подножью приурочена группа Южно-Алехинских термальных источников; на его склоне расположено крупное Внешнее сольфатарное поле. Точка с максимальной отметкой абсолютной высоты находится в южной части кальдерного вала - это сопка Головнина высотой 541 м.

Материалы и методы. Статья посвящена результатам полевых обследований озера Горячее и реки Озёрной в 2016 и 2017 гг. Работы включали: измерения на водомерных постах; гидролого-гидрохимическую съёмку; батиметрическую съёмку; оценку влияния сольфатарных полей на гидрохимические характеристики водных масс озера Горячее; рекогносцировку по долине реки Озёрная, её притокам и притокам озера Горячее.

В ходе полевых обследований на реке Озёрная и озере Горячее были установлены временные водомерные посты, на которых в 10:00 и в 20:00 проводилось измерение таких характеристик, как температура воды, её электропроводность, общая минерализация и уровень. На различных точках в пределах акватории озера Горячее и в долине реки Озёрная измерены также показатель рН и мутность воды. Общая минерализация измерена с помощью TDS-метра (Total Dissolved Solids - «общее количество растворённых частиц», измеряется в частицах на миллион частиц воды - parts per million (ppm)), электропроводность, а также температура воды - с помощью кондуктометра Марк 603, показатель рН - с помощью рН-метра, мутность - с помощью турбидиметра Hanna.

Гидролого-гидрохимическая съёмка проведена с помощью батометра. Точки отбора проб выбраны в местах резкого перепада глубин и рядом с сольфатарными полями (5 точек). На точках произведены: метеорологические наблюдения (волнение, облачность, направление ветра, высота Солнца и прозрачность воды); измерения глубины; рН; σ_t , мксм/см; $t, ^\circ\text{C}$; TDS, ppm. Всё это позволило определить вертикальную стратификацию и найти глубину скачка.

Батиметрическая съёмка произведена с помощью эхолота «Fishfinder» и ГНСС-приёмника Garmin eTrex Legend. Всего получены данные промеров глубин в 1210 точках.

По берегам озера Горячее и на его дне расположены Центральное, Западное, Подводное, Черепаховое и Безымянное сольфатарные поля. Наличие проявлений поствулканической активности подтверждает активное состояние вулкана Головнина. Проведены следующие гидролого-гидрохимические исследования: а) выявление границ влияния сольфатарных полей; б) измерение таких гидрохимических характеристик, как общая минерализация, рН, электропроводность, температура и мутность воды по площади поверхностного слоя озера в районе сольфатарной активности (0,5 м) и по глубине в нескольких точках.

В ходе гидрологических обследований совершена рекогносцировка по долине реки Озёрная, в ходе которой измерены гидрохимические показатели и скорость течения реки. Скорость течения измерена с помощью поплавков. Аналогичные обследования проведены на притоках озера Горячее, где, помимо прочего, измерена оптическая мутность. Получены данные о 29 водотоках, впадающие в озеро Горячее.

Результаты.

Батиметрическая съёмка.

Одним из основных результатов работ является батиметрическая карта (рис. 1). Общая картина распределения глубин следующая: небольшой залив в западной части озера является самым мелководным, глубина увеличивается по направлению к восточной части озера, переход плавный. В целом, рельеф дна достаточно сложный: выявлено две воронки с глубинами до 65 м (рис. 2). Предположительно, эти воронки являются местами выхода вулканических газов [1], что подтверждается и нашими наблюдениями: часто близ воронок отсутствовали показания эхолота, что могло быть вызвано столкновением волн сонара и пузырьков воздуха. В южной части озера, в районе впадения в него Серной протоки, глубина уменьшается, что вызвано внесением вещества через протоку и его дальнейшим осаждением. Частые горизонталы в районе Центрального Восточного и Центрального Западного экстррузивных куполов объясняются тем, что здесь берега озера слагают породы, устойчивые к размыву. Стоит отметить, что общий характер рельефа дна озера по данным наших исследований подтверждает результаты работ предшественников [Козлов и др., 2009], однако измеренная нами глубина воронок оказалась больше.

Гидролого-гидрохимическая синхронная съёмка.

Содержание SO_4 в природных водах лимитируется присутствием в воде ионов Са, которые образуют с SO_4 сравнительно малорастворимый CaSO_4 . Распределение HCO_3 в воде связано с рН. Так как озеро Горячее относится к сильнокислотным озёрам (рН составляет в среднем 2,5), то анионов HCO_3 не было обнаружено. Воды озера Горячее по типу минерализации относятся к солоноватым водам, то есть к водам, содержащим больше солей, чем пресные воды, но меньше, чем морские. Технически солоноватая вода содержит от 0,5 до 25 граммов соли на литр. По химическому составу воды озера относятся к хлоридно-натриевым водам. С ростом минерализации, от которой по большей части зависит электропроводность, относительное содержание Са быстро уменьшается. Это объясняется сравнительно низкой ограниченной

растворимостью углекислых солей кальция. Ионы кальция поступают в воду при фильтрации её через почву. Они находятся в водах в сочетании с анионами HCO_3 и SO_4 . Ионы магния поступают в природные воды преимущественно при растворении пород. В природных водах рН зависит от содержания угольной кислоты, от присутствия органических веществ. Повышение рН в озере Горячее связано с наличием Ca, Mg, Na, K, которыми богаты местные почвы и породы.

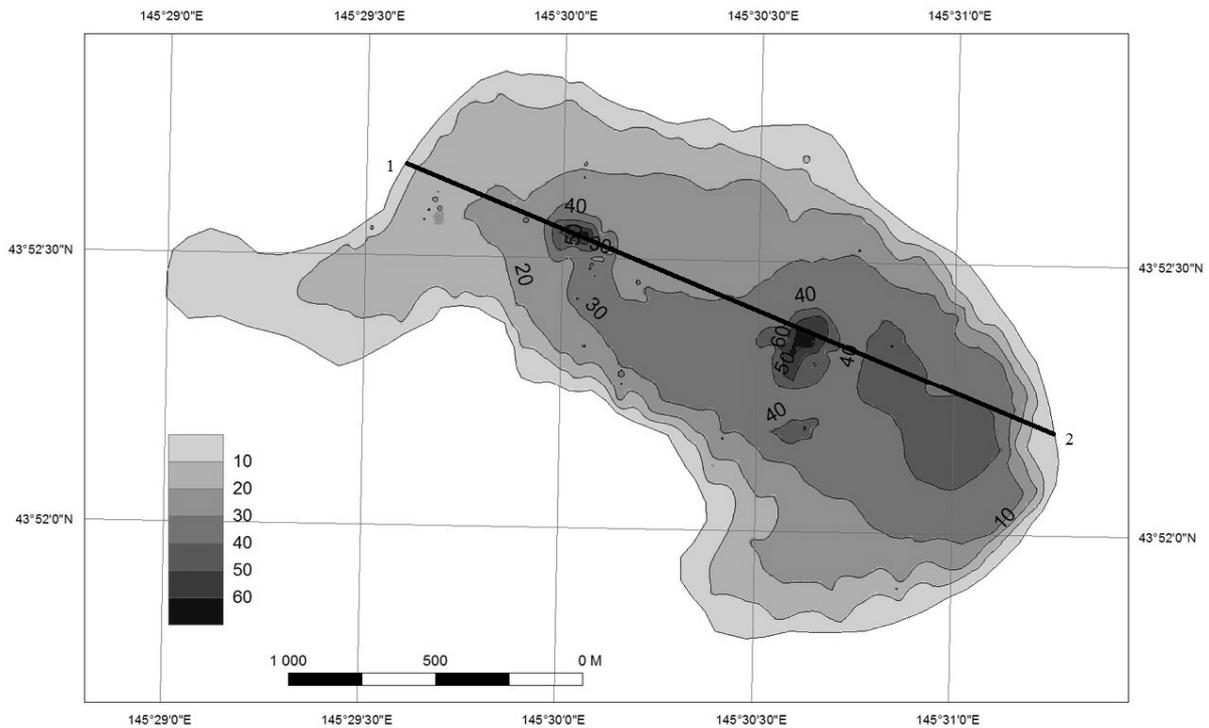


Рис. 1. Батиметрическая карта оз. Горячее, построенная по результатам измерений, проведённых в ходе экспедиции 2017 г., и линия эхолотного профиля 1-2.



Рис. 2. Эхолотный профиль по линии 1-2.

Исследование влияния сольфатарной активности на оз. Горячее.

В некоторых точках прослеживается нестандартное распределение гидрохимических характеристик, а именно: повышение температуры воды ко дну, скачок электропроводности и общей минерализации на средних глубинах, резкое снижение значения рН на тех же глубинах, где заметен рост минерализации. В ходе измерений в данных точках наблюдалось помутнение воды, вызванное подводной сольфатарной активностью. Таким образом, более минерализованные, горячие воды, выходящие в придонной части озера, искажают стандартную стратификацию.

Поствулканическая активность оказывает значительное влияние на гидролого-гидрохимические характеристики воды, и посредством течений изменённые гидротермальной активностью водные массы могут распространяться на большие площади озера, влияя на его гидробиологические и гидрохимические характеристики.

Рекогносцировка притоков озера Горячее и реки Озёрная.

По долине реки Озёрная проведены измерения в 7 точках как на самой реке, так и на её притоках. Все точки измерений можно разделить на две группы. Первая группа - измерения в точках на реке Озёрная, которая вытекает из кислого озера Горячее, имеет повышенную температуру воды, электропроводность и минерализацию. Вторая группа - измерения на водотоках, впадающих в реку Озёрная, они имеют, в основном, подземное питание, поэтому для них характерна низкая температура, низкая минерализация (относительно реки Озёрная, так как грунтовые воды сами по себе являются достаточно минерализованными водами) и низкая электропроводность. Температура воды по длине реки практически не меняется, что связано с тем, что её длина всего около 2,5 км, она имеет высокую скорость течения (около 1 м/с), и прямоугольную форму русла. Водоток, впадающий в Охотское море между устьями реки Озёрная и ключа Охотский, характеризуется повышенной температурой, что, вероятно, связано с участием в его питании термальных вод. Такую классификацию водотоков подтверждают и данные об электропроводности.

Собраны гидрологические и гидрохимические данные обо всех притоках озера Горячее (29 шт.). По температуре воды все притоки можно разделить на три группы. Первая: притоки с температурой воды 10–20С°, вторая: 20–25С°, третья: 25–60С°. К притокам второй и третьей группы относятся, очевидно, те, истоки которых связаны с сольфатарными полями.

По значению электропроводности притоки логично разделить на две группы: с электропроводностью 0–500 мксм/м*с (притоки с грунтовым питанием) и с высоким значением электропроводности 500–8000 мксм/м*с (термальные источники). По измеренным значениям общей минерализации притоки разделены на две группы: менее 300 ppm и более 300 ppm. Высокое значение общей минерализации соответствует притокам, являющимися термальными источниками. Интересно, что у некоторых притоков, для которых характерна сравнительно высокая температура воды, значение общей минерализации невысоко. В притоках измерена оптическая мутность. Данный показатель в значительной степени зависит от скорости потока и грунтов, слагающих ложе водотока. Почти во всех водотоках наблюдается низкая оптическая мутность. Можно выделить три группы водотоков: почти с нулевой мутностью, с повышенной мутностью, с очень мутными водами. Очень мутная вода зафиксирована в двух точках, это устье протоки Серная и устье ключа на Центральном Западном сольфатарном поле. Это связано с активно размываемыми породами, слагающими русла этих водотоков.

Итог. В ходе полевых обследований получены новые данные о гидрологических и гидрохимических характеристиках озера Горячее, его притоков, реки Озёрная и её притоков. Рассматриваемые объекты отличаются от многих типичных для Южных Курил водных объектов особенностями водного режима, химическим составом вод, их температурой и другими параметрами. Следует отметить, что изучение гидрохимических и гидрологических характеристик водных объектов, связанных с действующими вулканами, помогает оценить их потенциальную активизацию.

Литература

1. Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Морфология и генезис озер кальдерных комплексов Головнина и Заварицкого (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. №3. С. 103-106.