

УДК 553.078.2

НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОЕ НОВОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ:  
ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЕ

*Нуждаев А.А.<sup>1</sup>, Чернов М.С.<sup>2</sup>,  
Феофилактов С.О.<sup>1</sup>, Нуждаев И.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

*Научный руководитель: д.г.-м.н. С.Н. Рычагов*

Нижне-Кошелёвское Новое термальное поле расположено на водоразделе между ручьями Гремучий и Прямой в непосредственной близости (300-400 метров) от широко известной Нижне-Кошелёвской термоаномалии. Оно было обнаружено в 2008 г. вследствие сгорания растительности на площади 200 x 200 м и повышения температуры грунтов в центре поля до 100 °С. Начиная с 2009 г., за данным новообразованным термальным полем ведутся ежегодные (в летний полевой период) наблюдения: выполняется площадная температурная съёмка и литогеохимическое (ртутнометрическое) опробование почвенно-пирокластических отложений, проводится изучение их разрезов в центре и на периферии поля, фиксируется изменение границ растительного покрова, поставлены геофизические работы. Прослежено изменение температурного и геохимического режимов термального поля за период с 2009 по 2013 гг. Обобщение полученных данных и продолжение регулярных исследований в районе Нижне-Кошелёвского Нового термального поля позволит ответить на вопрос о природе этого феномена.

## ВВЕДЕНИЕ

Нижне-Кошелёвское Новое термальное поле расположено на западном склоне Кошелёвского вулканического массива – крупнейшего на юге Камчатки сложного вулканического сооружения [3]. К массиву приурочены знаменитые Гремучие Ключи: Нижне- и Верхне-Кошелёвская термоаномалии большой мощности (25 и 50 ГВт, соответственно, по [2]). Этому району посвящены исследования многих геологов, геофизиков, гидрогеологов: Дитмара, Н.И. Лазаренкова, Д.К. Александрова, Б.И. Пийпа, С.Е. Априлкова, С.И. Набоко, В.В. Иванова, Г.А. Гонсовской, А.Е. Святловского, В.М. Сугрובה, Ю.А. Краевого, А.И. Сережникова, З.Б. Декусар, М.И. Зу-

бина, Е.А. Вакина и мн. других. В 1970-80-х годах в районе Нижне-Кошелевской термоаномалии на основании комплексных поисковых работ и бурения скважин до глубины 1500 м было выделено одноименное пародоминирующее геотермальное месторождение мощностью более 90 МВт, [7]. Одновременно выявлены и описаны все термопроявления района, в т.ч. отдельные термальные источники (Промежуточные, Сказка, Кальдерные, Сивучинские и др.). Однако, в последний период исследований во время работ Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН часть ранее известных термопроявлений не обнаружено, но выявлены новые [8]. В том числе в непосредственной близости (300-400 м к югу) от Нижне-Кошелевской термоаномалии на водоразделе между ручьями Гремучий и Прямой наблюдалось редкое природное явление – образование нового термального поля. В 2008 г. сотрудниками экспедиции было зафиксировано выгорание растительности (травы и ольхового стланика) на площади примерно 40 тыс. м<sup>2</sup> и прогрев грунта на глубине 30-50 см до 100 °С.

Других видимых признаков геотермальной деятельности (водных источников, грязе-водных котлов или каких-либо признаков растека термальных вод) на этой площади обнаружено не было. Данная территория и была названа Нижне-Кошелевским Новым термальным полем (НКН). Внезапный прогрев площади, сопоставимой с размерами обычного термального поля, представляет огромный интерес с точки зрения изучения скорости протекания геотермальных процессов и интенсивности изменения горных пород в режиме реального времени, картирования термоподводящих каналов и источников тепла, решения других фундаментальных научных вопросов геотермии. Кроме того, территория относится к государственному природному заказнику федерального значения «Южно-Камчатский» и очевидно, что прогрев новой площади может оказать существенное влияние на экологию района. В связи с изложенным, сотрудниками экспедиции были поставлены комплексные геолого-геофизические работы на площади НКН.

## МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

*Площадная температурная съемка.* Измерения температуры грунтов проводились по системе профилей с расстоянием между ними от 40 до 20 м и расстоянием между точками от 20 до 10 м (см. ниже схемы распределения температур в разные годы). Измерения производились на глубине 60-70 см в шпуре, куда помещалась термопара и «выстаивалась» до достижения теплового равновесия с грунтом. Профиля выходили за пределы изолинии температур 15°C.

*Литогеохимическое (ртутьметрическое) опробование* делювиальных почвенно-пирокластических отложений на площади поля выполнялось в тех же точках. Отбирался материал из подпочвенных горизонтов, обычно это супесь или суглинок. Вес пробы составлял 0.5-1 кг. Проба высушивалась и просеивалась через бронзовое сито с шириной ячейки 1 мм для отделения органики и крупных обломков. Далее выделялась фракция 0.1-0.2 мм весом 30-50 гр. Определения содержания ртути проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с помощью аналитического комплекса РА-915+ в ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск [1].

*Магнитометрическая съёмка* проводилась в 2010-2011 гг. для определения уровня магнитного поля на площади НКН и за его пределами. Использовался протонный магнитометр ММП-203, предназначенный для измерений модуля магнитной индукции  $T$ . Общая площадь съёмки составила более 1 км<sup>2</sup>. За пределами НКН измерения проводились по профилям с расстоянием между ними 100 м и между точками измерений - 10 м. На площади НКН расстояние между профилями составило 50 м и точками наблюдений - 5 м. В результате построена карта магнитных аномалий  $\Delta T$  [5].

*Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)* в районе основной Нижне-Кошелёвской термоаноалии и НКН выполнено в 2013 г. На каждой точке зондирования проводились измерения разности потенциалов в приемной линии при возрастающих размерах расстановки питающих электро-

дов [10]. Более подробно методика и результаты исследований изложены в работе Д.К. Денисова с коллегами в настоящем сборнике статей.

*Проходка шурфов* производилась для изучения строения почвенно-пирокластических отложений и их изменений под воздействием температурного поля (геотермального теплоносителя ?). В 2010, 2011 и 2013 гг. в центральной, наиболее прогретой, части НКН и на его границе пройдены шурфы практически на всю мощность делювия (от 180 до 210 см). Расстояние между шурфами в этих двух группах составило 5-10 м. Разрезы послойно опробовались, в среднем через каждые 20 см, для определения химического и минерального состава отложений, изучения распределения ртути в твердом субстрате (супеси, суглинке, глине). Из каждого слоя была взята проба на подготовку водной вытяжки с целью изучения состава поровых растворов.

#### ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты температурных съемок 2009-2013 гг. показаны ниже (рис. 1). Наиболее прогретые участки наблюдаются в центральной части поля. За период наблюдений происходит снижение температуры на всей площади НКН и уменьшаются его размеры (границы поля проведены по 20-ти градусной изотерме). Таким образом, после внезапного и интенсивного прогрева поверхности (в течение 1-2 лет) происходит последовательное, в течение 5 лет, остывание территории. При этом конфигурация и расположение наиболее прогретых участков остаются практически неизменными (табл. 1).

Распределение концентраций ртути на площади НКН хорошо коррелируется с температурными полями (рис. 2, на примере съемки 2011г). Максимальные по значениям аномалии ртути в подпочвенном горизонте расположены в центральной части поля, на периферии концентрации ртути близки к фоновым значениям. Это косвенно свидетельствует в пользу еди-

ного источника температурных и ртутнометрических аномалий, которым, вероятнее всего, является геотермальный паро-газовый теплоноситель.

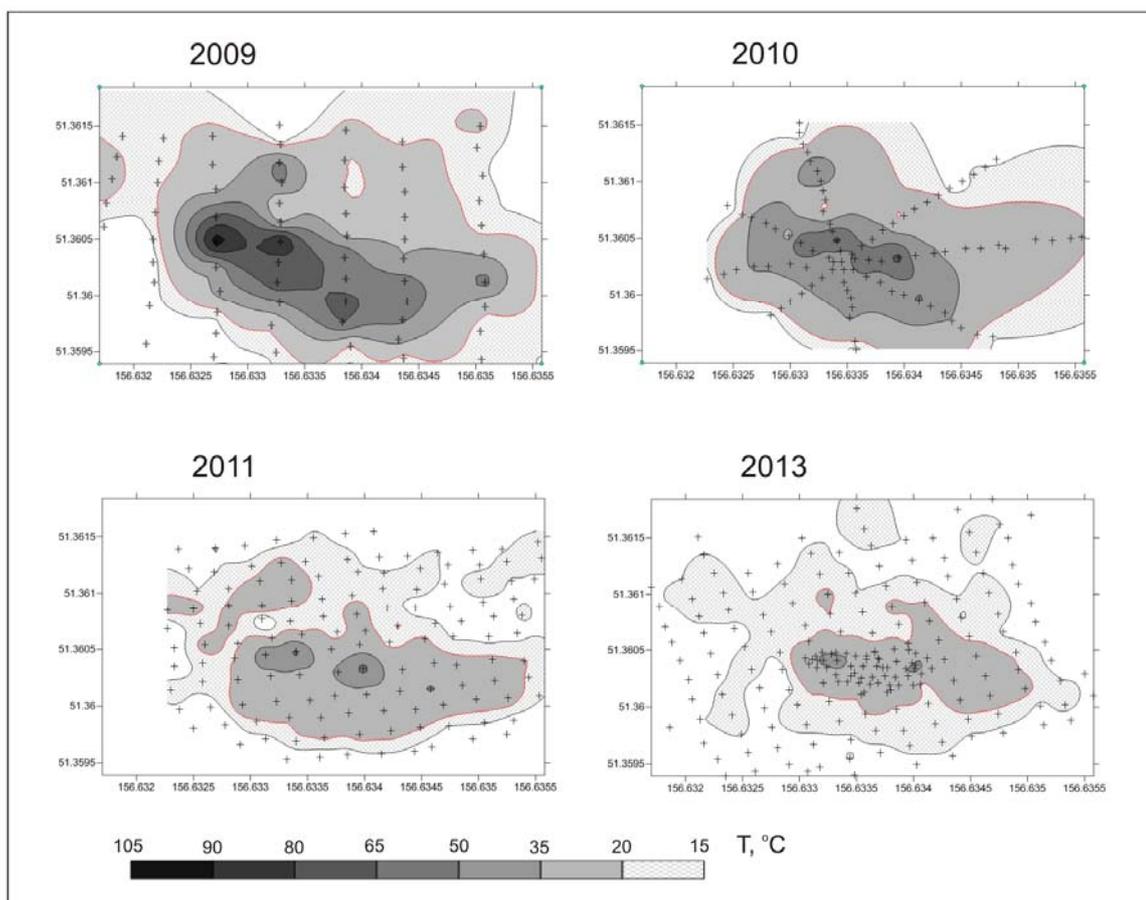


Рис.1 Схемы распределения температур на площади НКН за период 2009-2013 гг. (в 2012 г. температурная съемка по техническим причинам выполнена только на половине поля, поэтому результаты не приводятся).

Таблица 1. Результаты температурных съемок и картирование границы растительности на площади НКН.

ГОД	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	$S_{20}, \text{M}^2$	$S_{\text{раст}}, \text{M}^2$
2009	107	39800	-----
2010	73	31300	14800
2011	70	17400	11400
2012	40	-----	-----
2013	41	9400	5800

Примечание:  $S_{20}, \text{M}^2$  – площадь поля по 20-ти градусной изотерме.  $S_{\text{раст}}, \text{M}^2$  – площадь выгоревшей (свободной от растительности) поверхности поля.

По результатам магнитометрических исследований составлена карта магнитных аномалий  $\Delta T$  в центральной части Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения. На ней четко выделились три крупные отрицательные магнитные аномалии: северная, центральная, южная. Последняя трассирует зону разлома, проходящего по долине рч. Прямой. С центральной аномалией связана основная разгрузка парогидротерм (Нижне-Кошелёвская термоаномалия). Предполагается, что северная область пониженных значений  $\Delta T$  приурочена к палеогидротермальной системе [6]. НКН расположена в поле средних значений  $\Delta T$ . Это, видимо, объясняется недостаточным временем воздействия температур (геотермального теплоносителя) на почвенно-пирокластические отложения, что привело лишь к частичному разрушению ферромагнитных минералов и неполной потери намагниченности субстрата.

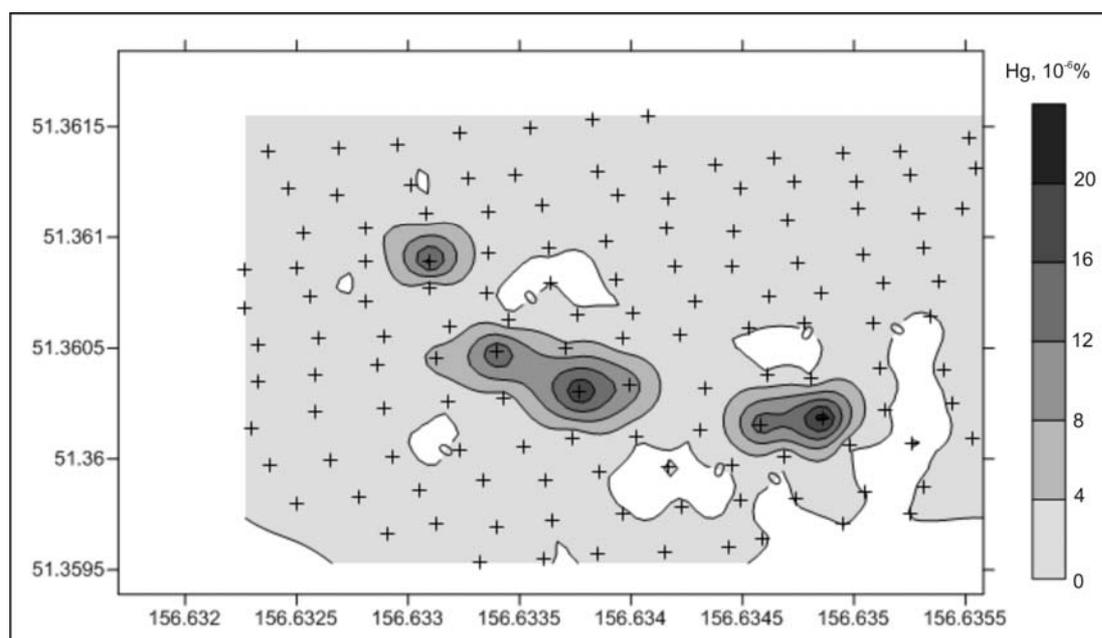


Рис. 2 Схема распределения ртути по площади НКН по результатам съемки 2011 г.

По результатам ВЭЗ верхняя часть разреза НКН до глубины 60 м представлена породами, характеризующимися высоким кажущимся сопротивлением. Известно, что эта часть разреза сложена лаво-экструзивным комплексом андезитов – андезидацитов. В нижней части разреза выделена зона с низким электрическим сопротивлением пород (рис. 3). Наиболее ве-

роятное объяснение этой зоны – высокая проводимость пород для гидротермальных растворов или паро-газовой смеси. Непосредственно под НКН выделяется канал, связанный с общей термопроводящей зоной. По-видимому, образование этого канала объясняет прогрев территории в районе НКН.

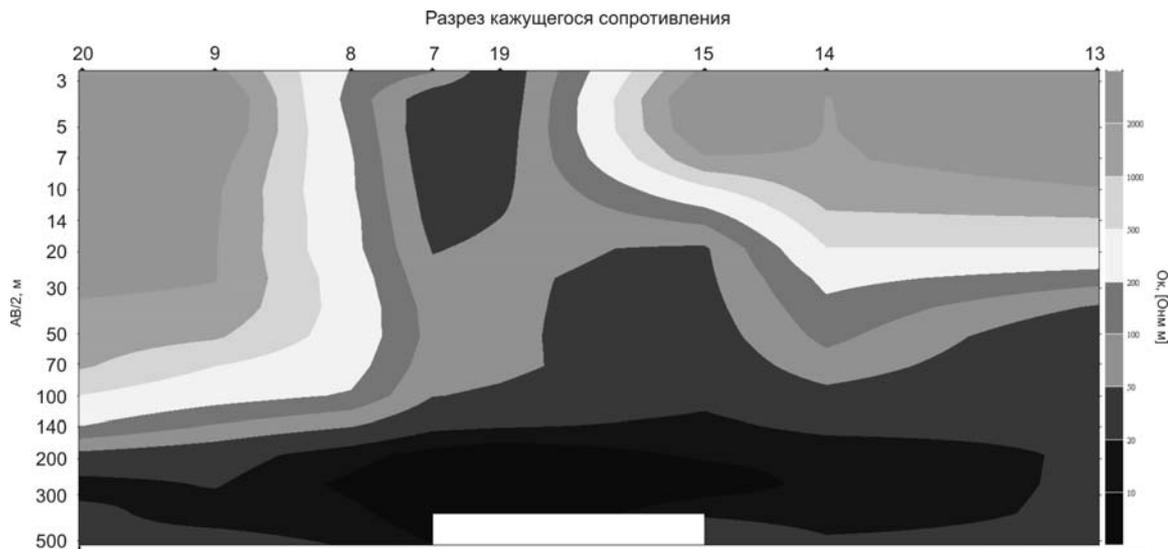


Рис. 3 Геоэлектрический разрез, полученный по результатам ВЭЗ через НКН (точки 7, 19 находятся непосредственно на площади НКН).

Изучение литологических разрезов НКН с помощью проходки шурфов показало следующее. На границе поля для верхней части разрезов характерно наличие дерна мощностью до 20 см, далее в интервале 35-45 см следует обгоревший почвенный горизонт, содержащий остатки растительности.

Этот горизонт подстилается слоем валунника мощностью до 20 см (в шурфах НКН-2/10 и НКН-2/11), ниже находятся слои супеси и суглинка с щебнем, валунами и галькой. В шурфах НКН-2/11 и НКН-2/13 в нижних слоях на глубине более 150 см отмечаются следы аргиллизации мелкого материала отложений и разложение крупных обломков. Это характерно для начальных стадий гидротермально-метасоматических изменений пород, приводящих к формированию гидротермальных глин. В шурфах центральной части поля верхний слой представлен суглинком, содержащим

окатанные (до гальки) обломки и гравий. При этом в шурфе НКН -1/10 еще наблюдались остатки дерна, корни растений, но в последующие годы на данном участке вследствие активных эрозионных процессов произошло разрушение этого горизонта.

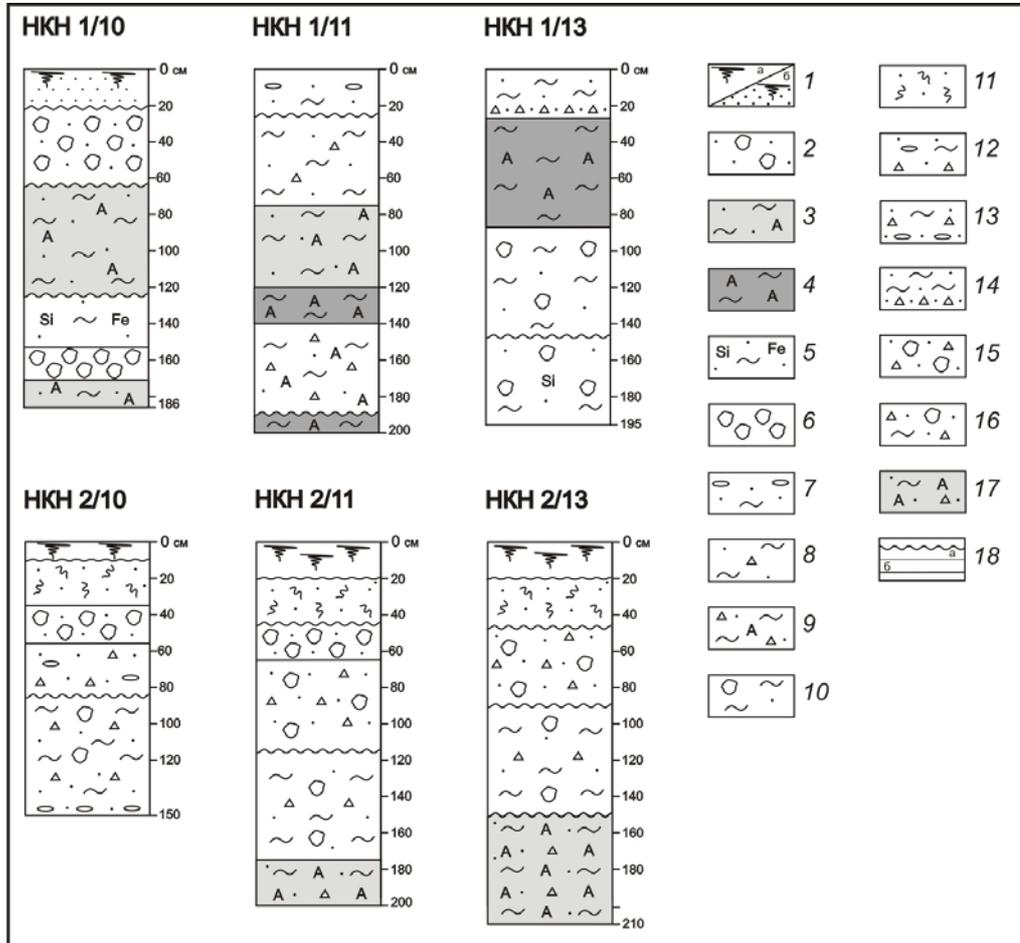


Рис. 4 Литологические колонки шурфов, пройденных на площади НКН.

1 – дерн; 2 – валунник с супесью; 3 – пластичный аргиллизированный суглинок; 4 – ярко-фиолетовые (гидротермальные) глины; 5 – суглинки со следами окремнения и гематитизации; 6 – валунник; 7 – суглинок с галькой; 8 – суглинок с щебнем; 9 – аргиллизированный суглинок с щебнем; 10 – суглинок с отдельными валунами; 11 – обгоревший почвенно-растительный слой; 12 – суглинок с галькой и щебнем; 13 – суглинок с щебнем и прослоем гальки в основании слоя; 14 – суглинок с щебнем в основании слоя; 15 – супесь с щебнем и валунами; 16 – суглинок с щебнем и валунами; 17 – аргиллизированный суглинок с щебнем; 18 – границы между слоями (а - резкая; б – постепенная).

Ниже вскрыты прослой суглинков и супеси с песком, щебнем и валунами (см. рис. 4). В шурфах центральной части НКН выделяются гори-

зонты аргиллизированного материала. Степень (интенсивность) аргиллизации последовательно возрастает от 2010 г. к 2013 г. В центральной части разреза выделяется горизонт с четкими границами (в шурфе НКН-1/13 он расположен гипсометрически выше). При этом если в 2011 г. собственно гидротермальные глины образуют прослой на интервале 120-140 см (в подошве этого горизонта), то в 2013 г. в гидротермальные глины превращен субстрат всего горизонта. Это свидетельствует о высокой скорости и интенсивности гидротермально-метасоматического изменения отложений в центральной, наиболее прогретой части НКН. На периферии поля аргиллизация отложений, видимо, также связана с некоторым прогревом (до 37 °С) в основании толщи вследствие поступления геотермального теплоносителя.

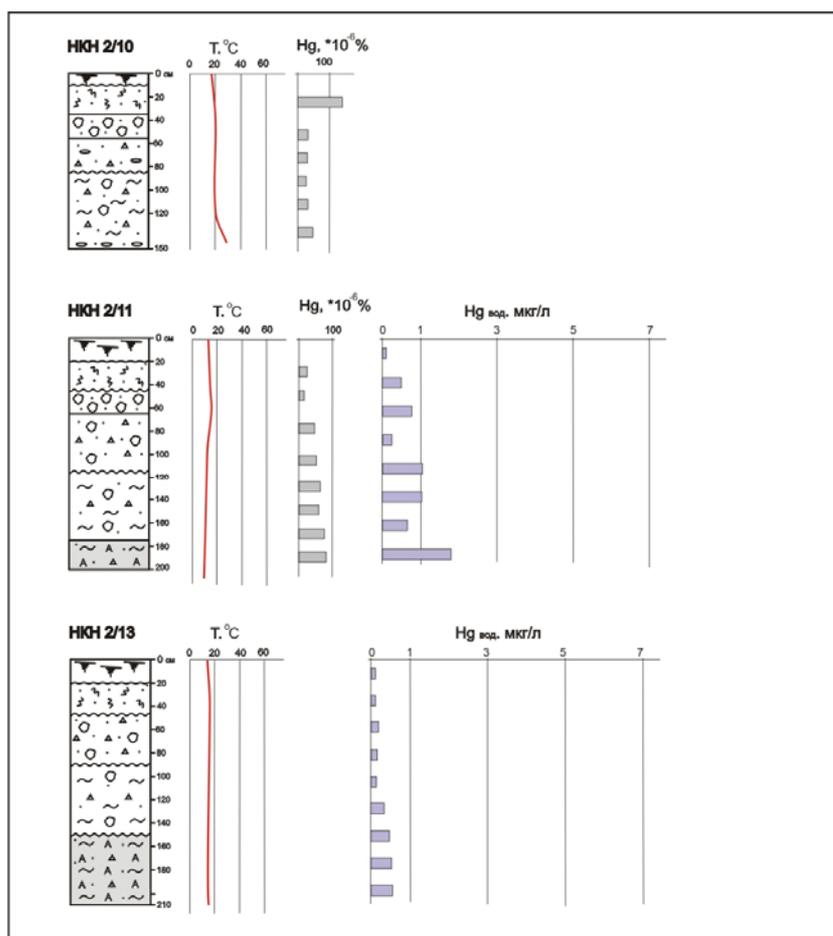


Рис. 5 Диаграммы распределения температур и ртути в почвенно-пирокластических отложениях и в поровых растворах разрезов на границе НКН.

Изучение распределения ртути в отложениях разреза НКН показало, что их содержания превышают фоновые (по [4]) на 1-3 порядка. На границе поля (рис. 5) содержания ртути в твердом субстрате достигают  $(100-120) \times 10^{-6}\%$ , в поровых растворах (последняя колонка на рис. 5) концентрации ртути высокие и, в целом, заметно повышение значений к основанию разрезов. Для разрезов центральной части НКН типичны очень высокие концентрации ртути, особенно в поровых растворах (рис. 6), по всей толще отложений. Отмечаются максимально высокие значения содержания ртути в поровых растворах аргиллизированных горизонтов.

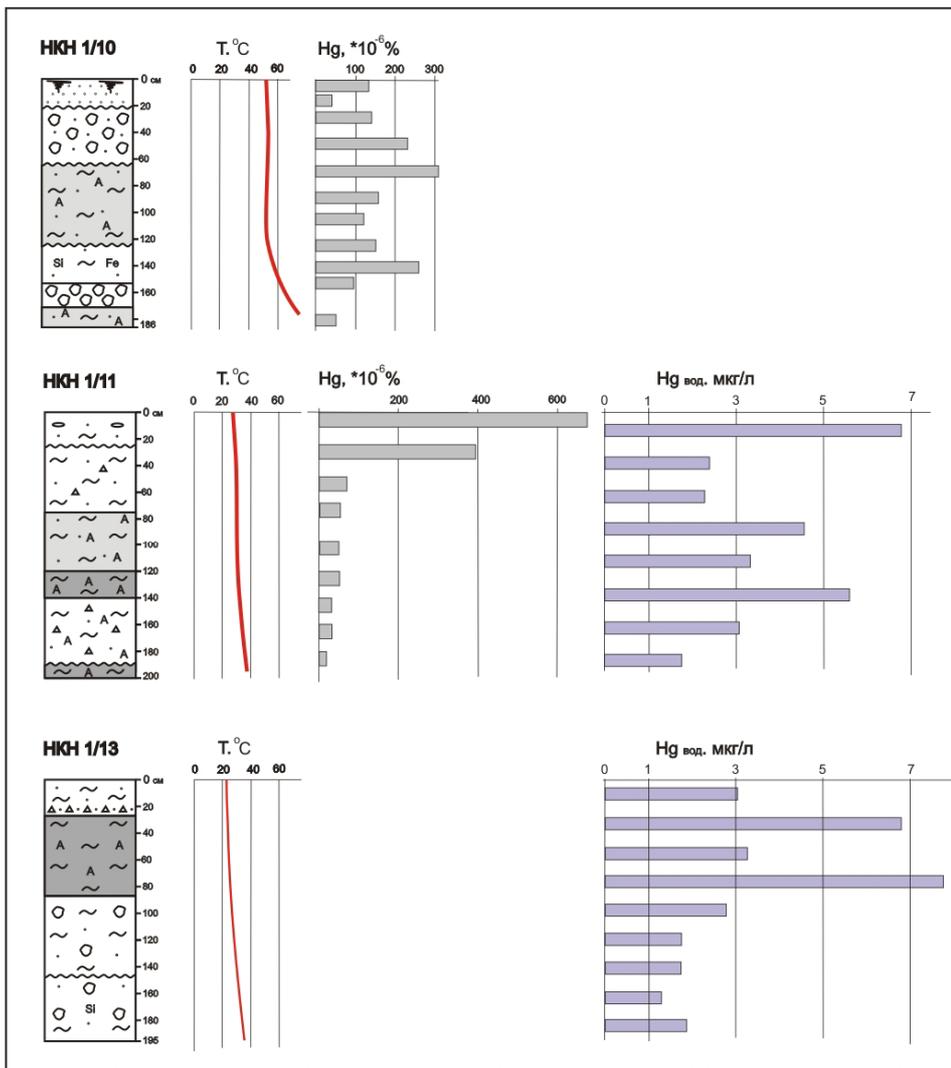


Рис. 6 Диаграммы распределения температур и ртути в почвенно-пирокластических отложениях и поровых растворах в разрезах центральной части НКН.

Широко известно, что в геотермальных системах ртуть поступает к дневной поверхности в составе гидротермальных растворов. Особенно активный транспорт ртути наблюдается в составе паро-газовой фазы [9]. Это обстоятельство может определять и механизм насыщения ртутью почвенно-пирокластических отложений НКН в описанный период проявления здесь термальных процессов.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В 2008 г. на западном склоне Кошелевского вулканического массива вблизи известной Нижне-Кошелевской термоаномалии наблюдалось редкое природное явление – образование нового термального поля (НКН) на отметках 750-800 м на водоразделе между ручьями Гремучий и Прямой. Поле обнаружилось вследствие выгорания растительности (травы и ольхового стланика) за счет повышения температуры грунтов до 100 °С. Площадь поля в 2008 г. составляла примерно 40 тыс. м<sup>2</sup>. В дальнейшем, после резкого (в течение 1-2 лет ?) прогрева территории произошло постепенное снижение температур грунтов за 5 лет (до 40 °С в центре поля) и уменьшение размеров поля.

Изучение температурного режима НКН и распределения ртути в почвенно-пирокластических отложениях на площади и в разрезах поля показало, что его образование и изменение состава и структуры почвенно-пирокластических отложений происходит за счет геотермального теплоносителя. Маловероятно, что теплоносителем являются гидротермальные растворы, поскольку не обнаружено следов циркуляции (растёка или разгрузки) гидротерм. Вероятнее всего, образование поля и изменение отложений происходит под влиянием паро-газовой фазы, отделяющейся на некоторой глубине от перегретого гидротермального раствора. На это указывает метасоматический характер изменений субстрата почвенно-пирокластических отложений – их аргиллизация вне зоны активной циркуляции растворов. Изучение характера изменения отложений и поведения

ртути позволяет утверждать, что аргиллизация является мощным фактором накопления ртути, поступающей в составе геотермального теплоносителя.

Геофизические материалы также косвенно указывают на метасоматический характер изменения отложений и на наличие источника тепла, связанного с основной паро-газовой зоной Нижне-Кошелевского геотермального месторождения. Видимо, тепло (паро-газовый теплоноситель) поступает по субвертикальному каналу, достаточно ярко проявленному на геоэлектрических разрезах, но характеризующемуся средними параметрами проводимости среды. Эти данные не могут однозначно ответить на вопрос – произошло ли образование поля вследствие влияния природных источников (мощной зоны пара основной термоаномалии) или имеет место приток теплоносителя за счет нарушения обсадки разведочных скважин, одна из которых находится на расстоянии менее 100 м от границы поля выше по склону. И в том, и в другом случае образование поля было обусловлено резким внедрением геотермального флюида (паро-газовой смеси) в толщу пород в результате проявления какого-то триггерного механизма: возможно сейсмического события, гидротермального взрыва в недрах геотермальной системы или др. (?). Дальнейшее комплексное изучение НКН может ответить на вопрос о природе данного феномена.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 12-05-31210мол\_а, 12-05-31343мол\_а). Авторы глубоко признательны всем коллегам по Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН за помощь в организации и проведении полевых работ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Андрулайтис Л.Д., Рязанцева О.С. Применение современного ртутного фотометра РА-915+ для анализа архивных геохимических проб с целью повышения их информативности // Материалы всероссийского совещания «Современные проблемы геохимии», ИГХ СО РАН, Иркутск., 2012 г., Т.-2. С.158-160.
2. Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В. Гидротермы Кошелёвского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
3. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
4. Леонова Л.Л. Геохимия четвертичных и современных вулканических пород Курильских островов и Камчатки // Геохимия. 1979. № 2. С. 179-197.
5. Нуждаев И.А., Феофилактов С.О. Магнитометрические исследования в районе Нижне-Кошелёвской термоаномалии // Природная среда Камчатки. Материалы X региональной молодёжной конференции «Природная среда Камчатки». 12-13 апреля 2011г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 119-129.
6. Нуждаев И.А., Феофилактов С.О. Современное состояние изученности строения Центральной части Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения (Южная Камчатка) и результаты магнитной съёмки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 2(22). С.231-241
7. Писарева М.В. Зона природного пара Нижнекошелёвского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
8. Рычагов С.Н. Исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН в Паужетско-Камбально-Кошелёвском геотермальном районе на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2(12). С.203-206.
9. Трухин Ю.П., Степанов И.И., Шувалов Р.А. Ртуть в современном гидротермальном процессе. М.: Наука, 1986. 199 с.
10. Хмелевский В.К., Модина И.Н., Яковлева А.Г. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей // М., 2005. 311 с.

NIZHNE-KOSHELEVSKY NEW THERMAL FIELD: HISTORY OF  
FORMATION AND DEVELOPMENT

*Nuzhdayev I.A., Chernov M.S., Feofilaktov S.O., Nuzhdayev I.A.*

Nizhne-Koshelevsky New thermal field is located on the watershed between Gremuchiy and Pryamoy brooks in close proximity (300-400 m) to the well-known Nizhne-Koshelevsky thermal anomaly. It was found in 2008 year as a result of vegetation burn on the area of 200 x 200 m and rise of ground temperature up to 100 °C in the central part of the field. Starting from 2009, the given new formed field has been annually observed (in summer field working period): areal temperature surveyings and lithogeochemical (mercurymetrical) testings of soil-pyroclastic deposits are conducted, their section studies in the central and periphery of the field are carried out, vegetation boundary changes are registered, geophysical works are organized. The change of temperature and geochemical conditions of the thermal field over a period from 2009 to 2013 is also traced. Generalization of findings and regular researches continuation in the area of Nizhne-Koshelevsky New thermal field will make it possible to answer the question about the nature of the given phenomenon.