

УДК 553.078.2

ЛИТОЛОГИЯ ТОЛЩИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ГЛИН НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОЙ ТЕРМОАНОМАЛИИ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

О.В. Кравченко, С.Н. Рычагов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский,
683006; e-mail: kovina86@mail.ru; rychsn@kscnet.ru*

На основании проходки шурфов и скважин колонкового бурения и детального послойного опробования изучено литологическое строение толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелёвской термоаномалии, одной из крупнейших на Камчатке. Толща гидротермальных глин образует единое геологическое тело, имеет слоистую структуру, мощность от 1.5 до 3.0 м и протяженность ≥ 500 м. На активных термальных участках (разгрузках парогидротерм) отмечаются вертикальные смещения горизонтов (слоев) глин, по-видимому, вследствие образования крупных полостей внутри толщи за счет подземной циркуляции растворов и паро-газовой смеси, а также широкого проявления оползневых процессов в V-образной долине ручья Гремучий. Во всех разрезах выделяется мощный (до 1-1.5 м) горизонт интенсивно пиритизированных аргиллизитов («синих глин»), представляющих повышенный интерес для изучения условий и механизмов транспорта рудных элементов в зоне гипергенеза современных гидротермальных систем.

Введение

Аргиллизированным породам и гидротермальным глинам, в частности, посвящены многие исследования в связи с широким распространением этих гидротермально-метасоматических новообразований в вулканических областях и их высокой информативностью [5, 7-9, 12, 17-19]. Авторским коллективом на основе детального послойного изучения гидротермальных глин, образующих на термальных полях единую достаточно мощную и протяженную толщу, установлена особая роль такого «самостоятельного» геологического тела. Толща служит верхним водоупором, тепловым экраном и комплексным геохимическим барьером в структуре современных гидротермальных систем и геотермальных месторождений [13]. На примере основных термоаномалий и отдельных термальных полей Паужетско-Камбально-Кошелёвского геотермального (рудного) района дана сравнительная характеристика строения и условий образования толщи глин, рассмотрены их минералогия, микро- и наноструктура, геохимия; приведены отдельные литологические разрезы [14]. Вместе с тем, за 10-летний период исследований коллектива по данной тематике накоплен огромный материал по литологии гидротермальных глин, который является основой для понимания условий формирования аргиллизитов и слагающих их минеральных (минеральных рудных) ассоциаций.

В настоящей работе выполнено обобщение данных по литологическому строению толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелёвской термоаномалии (т/а) – наиболее изученного в этом плане объекта.

Нижне-Кошелевская т/а: морфоструктура, условия разгрузки парогидротерм

Т/а находится на западном склоне Кошелевского вулканического массива (сложного вулкана четвертичного возраста) и приурочена к центральной части крупнейшего на Камчатке и широко известного Нижне-Кошелевского пародоминирующего геотермального месторождения [1-4, 10, 11]. Геологическое строение этих объектов описано во многих работах [2-4, 13-16], поэтому остановимся на геоморфологической и физико-химической характеристике термоявлений в структуре т/а. Нижне-Кошелевская т/а расположена в овально-кольцевой отрицательной геоморфологической структуре, вытянутой на 500 м вдоль глубоко врезанного оврага рч. Гремучий (рис. 1). На основании детальных топографических работ (И.А. Нуждаев и С.О. Феофилактов, 2008 г.) и наших многолетних гидрогеотермических исследований [6] выделяются четыре основных участка по геоморфологическому строению и характеру разгрузки парогидротерм (рис. 2).

Участок Верхний находится в пологой ложбине размером 20 x 40 м в верховьях правого притока рч. Гремучий. На участке насчитывается около 10 грязе-водных котлов диаметром до 30 см и парогазовых струй малой мощности. Температура воды в котлах составляет, в среднем, 85-90 °С, воды слабокислые.

Большая Сухая Воронка (БСВ) имеет неправильно-изометрическую форму размером 50 x 60 м, с крутым восточным бортом, плоским дном и несколькими мелкими эрозионными воронками у западной границы и термальными буграми внутри структуры. Под крутым бортом находится крупный грязе-водный котел, постепенно передвигающийся в сторону рч. Гремучий. Температура раствора в котле достигает 95 °С, рН составляет, в среднем, для всех котлов 4.1-4.5. От западной части БСВ простирается линейная термальная зона, вдоль которой рас-



Рис. 1. Основная часть Нижне-Кошелевской термоаномалии. Вид с ЮЗ на СВ. Фото С.Н. Рычагова.

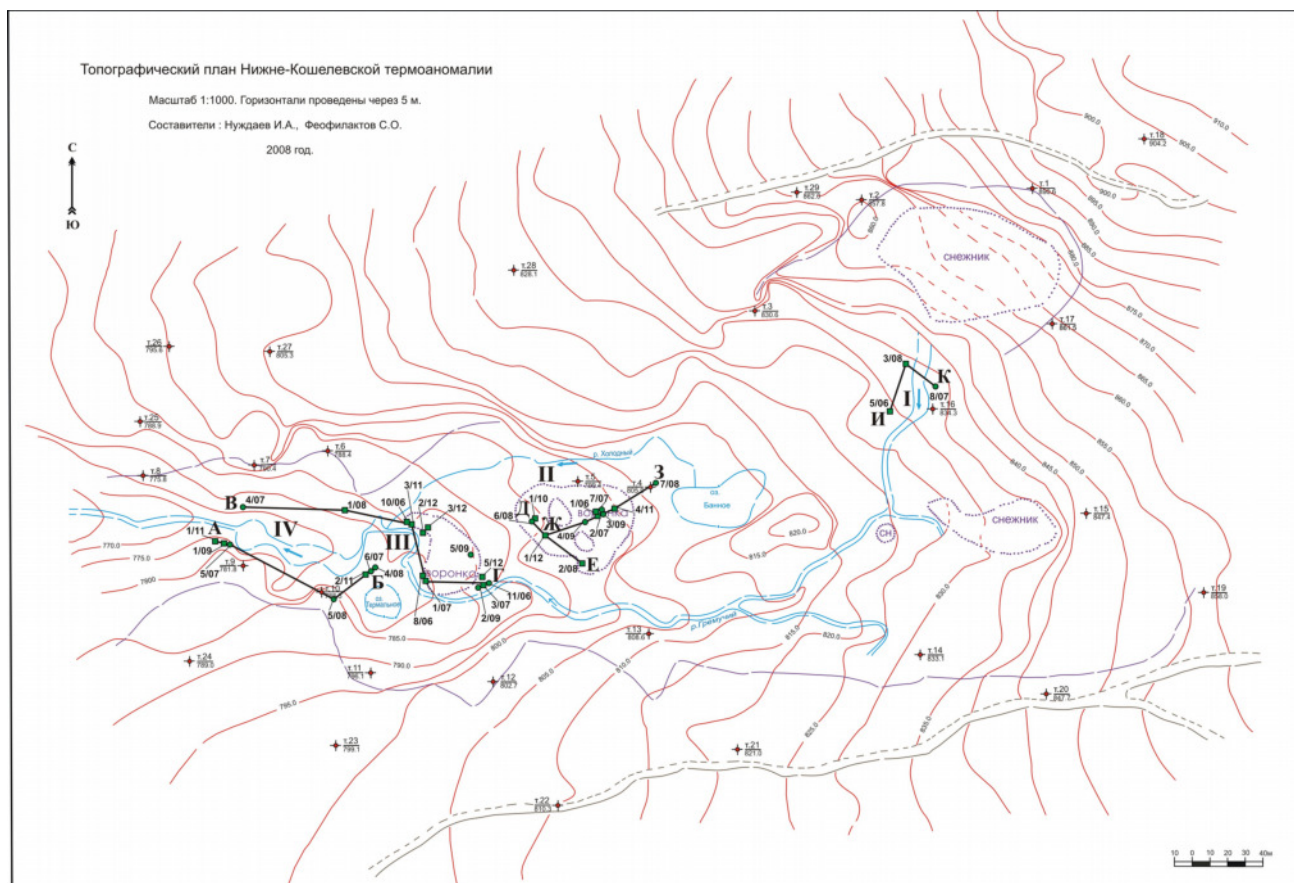


Рис. 2. Топографическая карта района Нижне-Кошелевской термоаномалии и положение основных литологических разрезов, приведенных на рис. 3 – 7. Вынесены все горные выработки (номер в знаменателе – год проходки): зеленые квадраты – шурфы, зеленые круги – скважины. Римскими цифрами обозначено местоположение описываемых в тексте статьи участков: I - Верхний, II - Большая Сухая Воронка (БСВ), III - Центральный, IV - Западный.

положено до 10 парогазовых струй, а на глубине до нескольких метров фиксируются подземные ручьи, интенсивно дренирующие чехол аргиллизированных делювиальных отложений. Температура паро-газовых струй достигает 113 °С, воды в котлах - 98 °С; рН - от 5.3 до 6.8.

Участок Центральный расположен в расширении долины рч. Гремучий. Изометричная в плане форма участка (кольцевая структура диаметром 100 м) образована в значительной степени за счет интенсивной эрозии аргиллизированных отложений в бортах долины ручья. На участке сосредоточена основная часть парогазовых струй и грязе-водных котлов различных размеров. Температура растворов 85-90 °С, рН 6.0-6.5. Парогазовые струи трассируют русло ручья и выходят из трещин вдоль всех водораздельных хребтиков и на склонах эрозионных воронок. По левому борту рч. Гремучий в крупной эрозионной воронке расположено оз. Термальное, вдоль береговой линии которого образуются грязе-водные котлы с температурой от 67 до 94 °С и часто с контрастным рН (от 1.7 до 6.2).

Западный участок характеризуется крутыми бортами долины ручья и наличием крупных кипящих и пульсирующих водных котлов, что свидетельствует о большом влиянии газов (уг-

лекистого, метана, др. углеводородов [11]) на геохимический и термальный режимы участка. В нижней части участка в расширяющейся долине образовано озеро, вся поверхность которого кипит из-за обильного газоотделения. Борта долины интенсивно прогреваются за счет выходов паро-газовых струй разной мощности, широко развиты оползневые процессы и образование провалов и эрозионных воронок.

Методика исследований заключалась в проведении полевых работ с проходкой скважин и шурфов, обработке аналитических данных, построении литологических колонок отдельных горных выработок и их корреляции между собой. С целью получения наиболее полных характеристик толщи гидротермальных глин были выбраны участки с различными физико-химическими условиями разгрузки парогидротерм и прогрева грунтов, а также на границе т/а. На этих участках пройдены шурфы и скважины колонкового бурения (см. рис. 2). Применялось ручное бурение с колонковыми трубами двух диаметров, позволявших получать достаточный объем керна; а, начиная с 2009 г., использовался буровой станок КМБ2-10 (максимально допустимая глубина бурения 10 м) российского производства. Всего пройдено 36 горных выработок (21 шурф и 15 скважин), глубина проходки обозначена на разрезах – см. ниже. Стенки шурфов и керн скважин детально документировались с послойным отбором проб (в среднем, каждые 15-20 см) на различные виды лабораторных исследований. Результаты силикатного, минералогического, петрофизического и др. анализов использовались для уточнения литологических характеристик гидротермальных глин и др. отложений в разрезах. Построение и корреляция разрезов между опорными выработками выполнены в компьютерной программе CorelDRAW. Линии разрезов в плане вынесены на рис. 2.

Фактический материал: описание разрезов

Разрез по линии А-Б (рис. 3) характеризует строение толщи гидротермальных глин по левому борту ручья Гремучий от Центрального к Западному участкам. Во всех выработках на забое подсекается горизонт с большим количеством обломков горных пород. Этот горизонт образует жесткое основание толщи, здесь наблюдается переход к скальным грунтам - коренным породам, представленным на данном участке лавами андезитов. Горизонт вскрыт на глубину от 10-15 до 55 см. Выше залегает толща слабо пиритизированных гидротермальных глин мощностью от 20 до 70 см, также с большим количеством обломков пород. В западной части т/а эти горизонты перекрываются мощным (65-100 см) слоем пиритизированных глин («синих глин»). На Центральном участке (разрез 6/07) «синие глины» залегают сразу на жестком основании. За пределами современной т/а (разрез 5/08) «синие глины» отсутствуют (не образуются, либо замещены монтмориллонитовыми глинами зоны углекислотного выщелачивания). Разрез 5/08 надстраивается тремя горизонтами осадочного материала, не измененного гидротермально-метасоматическими процессами. Разрез внутри т/а завершается типичной для термальных полей зоной сернокислотного выщелачивания. Особенностью разреза в западной части является вертикальное смещение слоев на 110 см (исходя из положения кровли жесткого основания). Такие смещения возможны в результате сбросов отдельных блоков толщи глин на крутом борту рч. Гремучий. При этом верхняя часть образующихся проса-

Разрез левого борта ручья Гремучий (по линии А-Б)

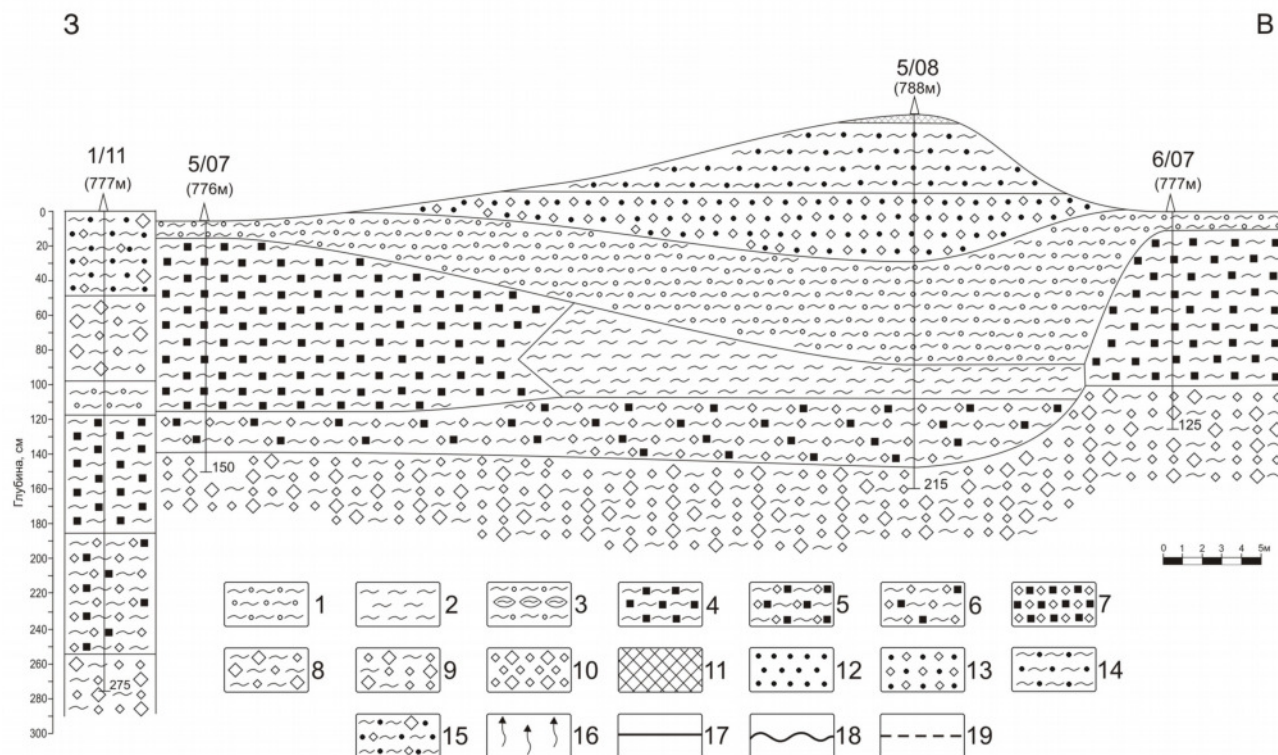


Рис. 3. Литологический разрез по линии А – Б. Под номером выработки в скобках – абсолютные отметки точек заложения выработок. На этом рисунке в условных обозначениях отмечены все литологические типы гидротермальных глин и др. отложений, характерные для Нижне-Кошелевской термоаномалии: 1 – гидротермальные глины зоны сернокислотного выщелачивания; 2 – гидротермальные глины зоны углекислотного выщелачивания; 3 – гидротермальные глины переходной зоны; 4 – гидротермальные глины интенсивно пиритизированные («синие глины»); 5 – гидротермальные глины менее пиритизированные, с обломками горных пород; 6 – гидротермальные глины с большим количеством обломков пород и присутствием пирита; 7 – субстрат с большим количеством обломков и пирита, малым содержанием глинистого материала; 8 – гидротермальные глины с большим количеством обломков разных размеров; 9 – обломочный материал с малым количеством гидротермальной глины; 10 – обломочный материал без заполнителя; 11 – почвенно-пирокластический чехол; 12 – супесь; 13 – супесь с обломками; 14 – суглинок; 15 – суглинок с обломками; 16 – крупная полость в толще глины; 17 – литологическая граница ровная, четкая; 18 – литологическая граница неровная; 19 – литологическая (метасоматическая ?) граница размытая или предполагаемая.

док заполняется слабо сортированными склоновыми отложениями (см. разрез 1/11). В целом, для разреза А-Б характерно:

- слоистое строение;
- относительная выдержанность горизонтов по латерали и вертикали;
- большая мощность толщи «синих глин» (до 110 см), которая, как было показано в наших более ранних работах [15, 16], может служить комплексным геохимическим барьером;

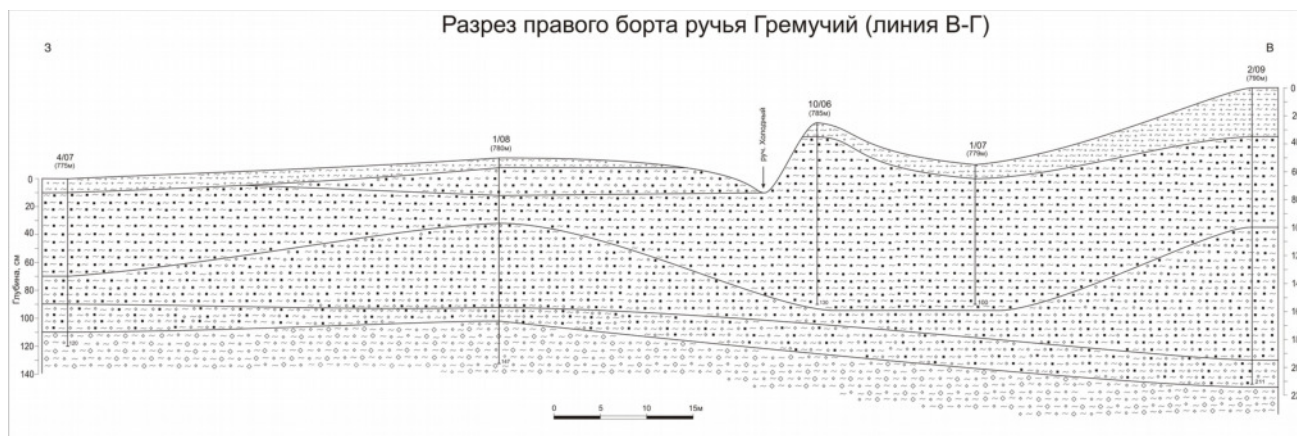


Рис. 4. Литологический разрез по линии В – Г.

- наличие опущенных блоков (сбросов) толщи глин на крутых бортах рч. Гремучий, амплитуда вертикальных смещений достигает 100 см и более.

Разрез В-Г (рис. 4) проходит также вдоль рч. Гремучий, но по правому борту и протягивается по латерали до 150 м от Центрального к Западному участкам. Толща глин, в целом, имеет похожее строение в сравнение с разрезом А-Б. Выделяется 5 горизонтов (снизу – вверх): 1) глины с большим количеством обломков горных пород (андезитов), представляющие переход к жесткому основанию толщи; 2) глины с меньшим количеством обломков и присутствием в них пирита; 3) то же, но с высоким содержанием пирита; 4) «синие глины»; 5) глины зоны сернокислотного выщелачивания (охристые глины). Наличие горизонта глин с большим количеством обломков в разрезе 1/08, пройденного в верхней части борта ручья, обусловлено, по-видимому, оползневыми процессами - смещениями слабосортированного обломочного материала по крутым склонам оврага. Таким образом, для разреза В-Г характерно следующее:

- хорошая выдержанность слоев по латерали;
- большая мощность горизонта «синих глин» (от 60 см в западной части и 20 см на крутом склоне ручья – до 120 см на Центральном участке).

Разрез Д-Е (рис. 5) построен между выработками, пройденными в толще глин БСВ. В этом разрезе не вскрыто основание толщи по техническим причинам (наличие высоких температур грунтов в шурфах, струй пара в стенках выработок и крупных полостей на разных глубинах). Устойчиво выделяются 3 горизонта (слоя): 1) глины интенсивно пиритизированные с большим количеством обломков, мощность слоя от 15 до 80 см; 2) «синие глины», мощность слоя от 20 до 35 см; 3) глины зоны сернокислотного выщелачивания, мощность варьирует от 30 до 70 см. В разрезе 6/08 вскрыта крупная полость (130 см по вертикали) и горизонты с большим количеством несортированного обломочного материала над и в основании полости. Это свидетельствует в пользу наличия подземных водных и паро-газовых потоков в этой части БСВ, вымывающих тонкую глинистую фракцию из толщи глин. Для разреза Д-Е, в целом, характерно следующее:

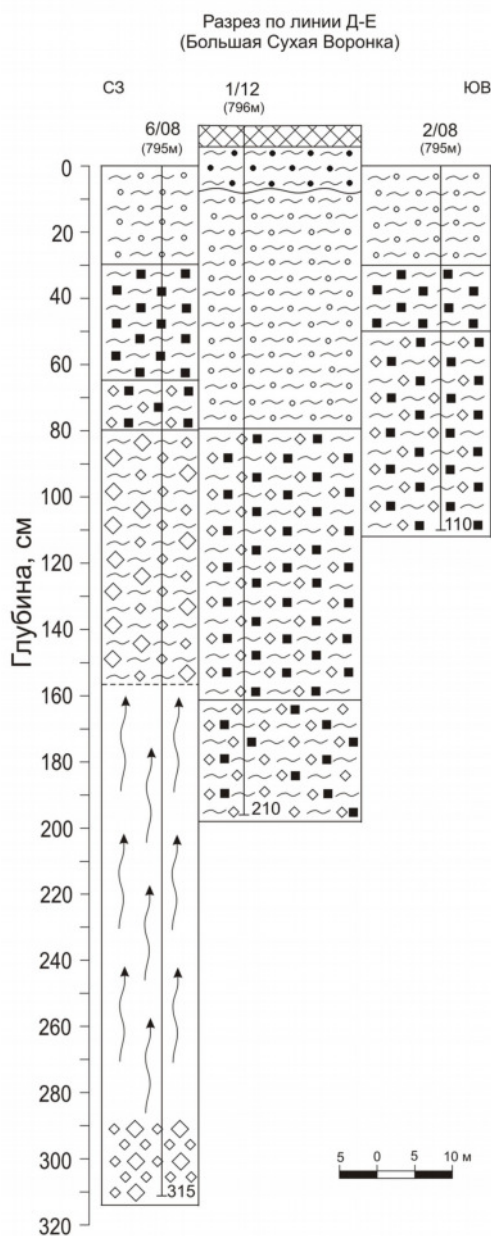


Рис. 5. Литологический разрез по линии Д – Е.

- наличие горизонта пиритизированных глин с выделением в его кровле слоя «синих глин»;

- смещение горизонтов по вертикали до 100-120 см, что свидетельствует, вероятнее всего, о подвижках небольших блоков пород (до 5-10 м в поперечнике) по субвертикальным тектоническим нарушениям;

- наличие крупных (≥ 1 м) полостей, как результат активного вымывания глинистой фракции и мелких обломков пород подземными термальными потоками.

Разрез Ж-3 (рис. 6) пересекает все элементы структуры БСВ (краевые зоны и центральный «термальный бугор»). Одной выработкой (3/09) вскрыта зона перехода к жесткому осно-

ванию – глины с большим количеством обломков пород (андезитов) разного размера. Другие выработки не достигли этой зоны по техническим причинам, описанным выше. Разрез принципиально схож с разрезом Д-Е: горизонт глин с наличием пирита и большим количеством обломков мощностью 40-45 см надстраивается более мощным горизонтом (50-100 см в основной части разреза) пиритизированных глин, включающих полуразложившиеся обломки пород; венчается разрез глинами зоны сернокислотного выщелачивания мощностью до 70 см. Под верхней зоной участками-блоками-линзами вскрываются «синие глины». А также только для этого разреза характерны слои-линзы-блоки глин, переходных по составу от зоны сернокислотного к зоне углекислотного выщелачивания: четкие линзы голубого цвета монтмориллонитовых глин находятся в охристых глинах, сложенных каолинитом, ярозитом, др. сульфатами. В СВ части разреза вскрываются стратифицированные вулканогенно-осадочные отложения, расположенные за пределами термальной структуры и поэтому не затронутые аргиллизацией. Данный разрез, в целом, характеризуется следующим:

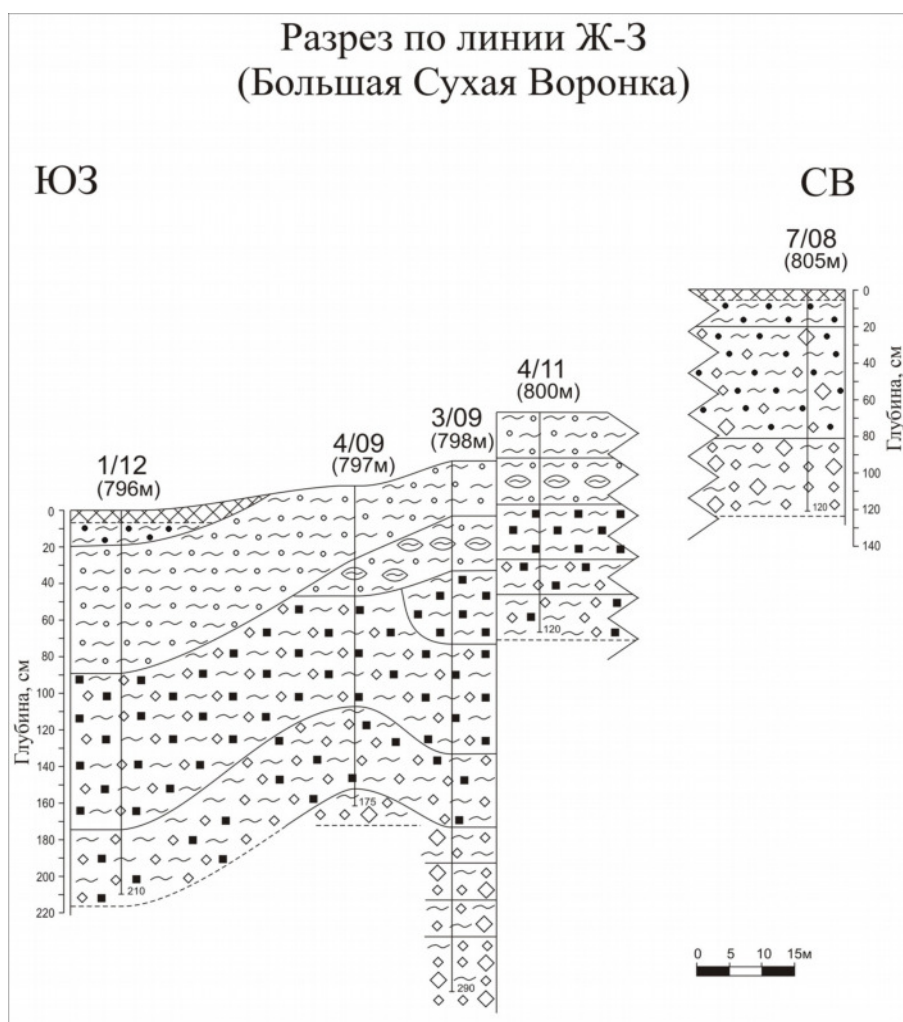


Рис. 6. Литологический разрез по линии Ж – 3.

- высокой сульфидизацией (кроме пирита отмечается марказит, в меньшей степени другие сульфиды) гидротермальных глин, большой мощностью таких горизонтов;
- образованием глин, переходных по составу от каолинитовых к монтмориллонитовым (смешанослойным);
- развитием «синих глин» в виде линз или блоков, которые обычно трассируют участки наиболее интенсивного пропаривания глин паро-газовыми струями.

Значительные вертикальные смещения слоев глин в центральной части разреза обусловлены, по-видимому, наличием жесткого блока горных пород под «термальным бугром» и начальной (?) неоднородностью этого блока. За пределами БСВ вскрыт стратифицированный почвенно-пирокластический разрез (скважина 7/08), не затронутый гидротермально-метасоматическими процессами – разрез, который может быть использован как «фоновый». Разрезы Д-Е и Ж-З принципиально схожи и характеризуют строение толщи глин БСВ – одной из наиболее примечательных структур Нижне-Кошелевской термоаномалии.

Разрез И-К (рис. 7) характеризует строение толщи гидротермальных глин участка Верхний. Разрез четко делится на две части. В ЮЗ части вскрыты остывшие (температура на забое шурфа не превышала 20 °С) глины монтмориллонитового состава (зона углекислотного выщелачивания мощностью более 90 см) и каолинитовые (охристые) глины зоны сернокис-

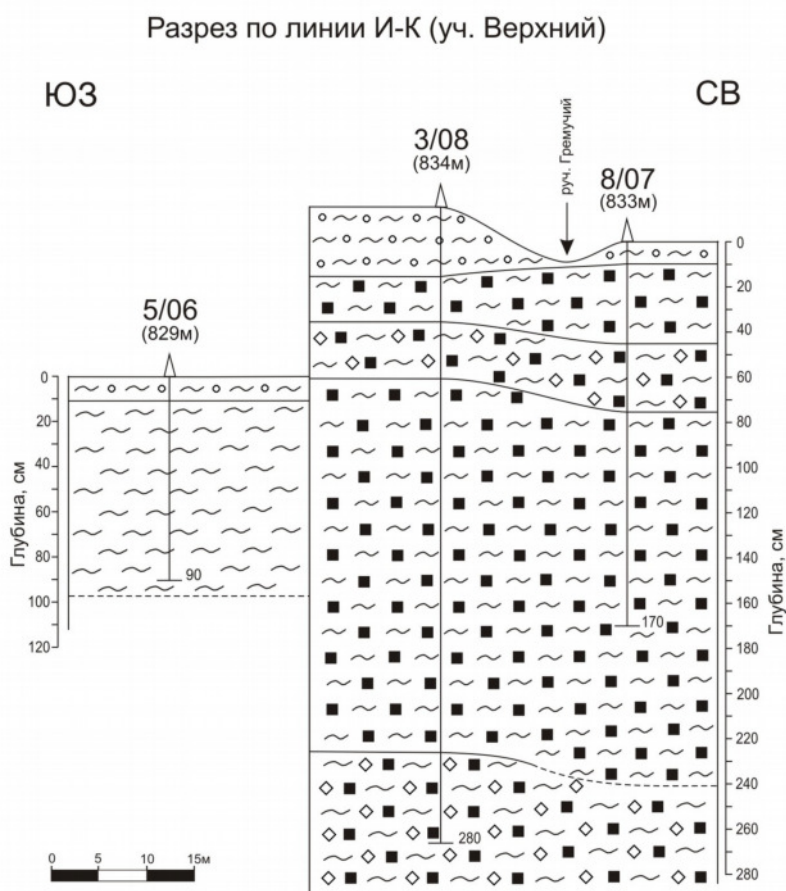


Рис. 7. Литологический разрез по линии И – К.

лотного выщелачивания (0-10 см). На прогретой части термального поля над слоем пиритизированных глин с обломками горных пород залегает мощный (170 см) горизонт «синих глин», выше происходит чередование слоев относительно интенсивно пиритизированных глин и «синих глин»; завершается разрез глинами зоны сернокислотного выщелачивания. В целом, для данного разреза необходимо отметить следующее:

- на активном (прогретом) участке интенсивно пиритизированные глины имеют значительную мощность (≥ 170 см) и весь разрез характеризуется содержанием большого количества пирита (вероятно, и других сульфидов) в основной массе глин;

- за пределами термального поля толща представлена глинами монтмориллонитового состава, в которых пирит содержится в форме тонкой рассеянной вкрапленности.

Заключение

С помощью проходки горных выработок (шурфов и скважин колонкового бурения) детально изучено литологическое строение толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии. Установлено, что толща образует единое геологическое тело, протягивающееся вдоль геоморфологической структуры на расстояние более 500 м, мощностью от 1.5-2.0 до 3.0 м. Основание толщи представляет собой кровлю (элювий) потоков лав андезитов (преобладающий состав обломков горных пород во всех разрезах). Толща гидротермальных глин, в целом, характеризуется слоистым строением: горизонты различного состава выдержанны по простиранию термоаномалии (восток – запад). Вкрест простирания аномалии и на отдельных термопроявлениях (Большая Сухая Воронка, участок Центральный и Западный) отмечаются высокоамплитудные (до 110-130 см) вертикальные смещения горизонтов. Такие смещения (сбросы), вероятно, происходят вследствие активной подземной циркуляции водных потоков и паро-газовой смеси вокруг термальных озер, хребтиков и бугров; а также за счет проявления оползневых процессов на крутых склонах V-образной долины ручья Гремучий. На всех участках термоаномалии выделяется горизонт интенсивно пиритизированных глин – «синих глин». Его мощность достигает 1.3 – 1.5 м (средняя 0.8 – 1.0 м). Этот горизонт представляет особый интерес с точки зрения изучения условий транспорта рудных элементов в толще гидротермальных глин. В целом, вся толща гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии, в отличие от таковых Паужетских термальных полей, характеризуется высоким содержанием пирита и др. сульфидов (установлены марказит, киноварь, сфалерит), что, вероятно, является следствием влияния на зону гипергенеза Кошелевской гидротермальной системы глубинных насыщенных восстановленными газами металлоносных растворов.

Авторы глубоко признательны всем коллегам по экспедиционным работам за многолетнюю практическую помощь, а также сотрудникам лабораторий ИВиС ДВО РАН, Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Института геохимии СО РАН, ФГУП ЦНИ-ГРИ и др. за большой объем высокоточных аналитических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-00007а) и Президиума ДВО РАН (проект 15-1-2-065).

Список литературы

1. *Аверьев В.В.* Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 118-128.
2. *Белюсов В.И.* Геология геотермальных полей. М.: Наука, 1978. 176 с.
3. *Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
4. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
5. *Ероцев-Шак В.А.* Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. М.: Наука, 1992. 131 с.
6. *Калачева Е.Г., Рычагов С.Н., Королева Г.П., Нурждаев А.А.* Геохимия парогидротерм Кошелевского вулканического массива (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2016 (в печати).
7. *Коржинский Д.С.* Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1982. 104 с.
8. *Коробов А.Д.* Гидротермальный литогенез в областях наземного вулканизма // Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. М.: ГИН, 1994. 50 с.
9. *Набоко С.И.* Металлоносность современных гидротерм в областях тектономагматической активности. М.: Наука, 1980. 198 с.
10. *Писарева М.В.* Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
11. *Поздеев А.И., Нажалова И.Н.* Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32-45.
12. *Русинов В.Л.* Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 1989. 213 с.
13. *Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В.* Гидротермальные глины и пирит геотермальных полей: значение в геохимии современных эндогенных процессов (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 2. С. 39-56.
14. *Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П.* Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского геотермальных месторождений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Выпуск № 12. С. 116-134.
15. *Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С.* Гидротермальные глины как высокодинамичная коллоидно-дисперсная минералого-геохимическая система // ДАН. 2010. Т. 435. С. 806-809.

16. Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований // Геохимия. 2012. № 4. С. 378-392.
17. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
18. Hemley J.J., Jones W.R. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis of hydrogen metasomatism // Econ. Geol. 1964. V. 59. № 4. P. 238-369.
19. Reyes A.G. Petrology of Philippines geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1990. V. 43. P. 279-309.