

## СТРОЕНИЕ И ЛИТОГЕНЕЗ ТОЛЩИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ГЛИН НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ АНОМАЛИИ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

© 2017 г. О. В. Кравченко, С. Н. Рычагов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9  
E-mail: kovina86@mail.ru; rychn@kscnet.ru

Поступила в редакцию 24.06.2016 г.

Принята к печати 21.12.2016 г.

На основании проходки шурфов и скважин колонкового бурения и детального послыйного опробования изучено литологическое строение толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелёвской геотермальной аномалии, 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  $\geq 500$  м. В местах разгрузки парогидротерм (в активных термальных зонах) отмечаются вертикальные смещения горизонтов глин вследствие формирования крупных полостей внутри толщи за счет подземной циркуляции насыщенных газом парогидротерм и вымывания из аргиллизированных пород тонкой фракции. Смещения горизонтов возможны также из-за широкого проявления оползневых процессов в глубоко врезанной V-образной долине руч. Гремучий. Литологические разрезы основных участков геотермальной аномалии включают от пяти до восьми горизонтов, различающихся химическим и минеральным составом. Получены минерало-геохимические критерии выделения трех горизонтов толщи гидротермальных глин: 1) зоны сернокислотного выщелачивания – в области поверхностной разгрузки термальных вод; 2) зоны интенсивно сульфидизированных “синих глин” в средней части разрезов; 3) зоны окремненных металлоносных отложений в основании аргиллизитов. Остальные из описанных в статье горизонты диагностируются менее четко. Гидротермальные глины Нижне-Кошелёвской геотермальной аномалии характеризуются в целом высоким содержанием пирита и других сульфидов, концентрирующих благородные, редкие и иные металлы. Предложена модель трансформации горных пород в гидротермальные глины как отражение влияния глубинных металлоносных флюидов на зону гипергенеза современных гидротермальных систем.

Ключевые слова: гидротермальные системы, геотермальные аномалии, парогидротермы, аргиллизированные породы, гидротермальные глины, геохимические барьеры, металлоносные флюиды.

### ВВЕДЕНИЕ

Глины, или глинистые породы, являются наиболее распространенными отложениями в осадочной оболочке земной коры (Осипов, Соколов, 2013). Им посвящены исследования ведущих советских (российских) (Н.М. Страхов, Н.В. Белов, В.А. Франк-Каменецкий, М.А. Ратеев, Н.Б. Васильевич, В.П. Петров, А.Г. Коссовская, В.А. Дриц, В.Н. Осипов), а также зарубежных (Г. Браун, Ж. Мило, В. Гольдшмидт, Р. Грими, С. Уивер и др.) литологов и минералогов. Ведущими процессами в образовании глин служат выветривание, денудация, седиментация и постседиментационные преобразования (Осипов, Соколов, 2013). Однако в связи с длительным превращением обломочных отложений в глинистые породы и их широким распространением в разных геодинамических структурах Земли задача определения генезиса глин представляется весьма непростой. Особенно это относится

к районам, где распространены вулканические и вулканогенно-осадочные породы. При изучении глинистых образований в Забайкалье, Казахстане и других регионах периодически возникала дискуссия: аргиллиты являются продуктами выветривания или имеют гидротермально-метасоматическое происхождение (Волостных, 1972; Коробов, 1994). Это обусловлено прежде всего тем, что при рассмотрении древних кор выветривания платформенных и геосинклинальных областей исследователи часто приходили к заключению о большой роли метасоматических и гидротермальных процессов в формировании разнообразных полезных ископаемых: бокситов, железных, марганцевых, кобальто-никелевых и других руд; каолинов, минеральных красок, цементного сырья и т. д. (Кора выветривания..., 1977; Разумова, 1963, 1977).

Так, зона окисления сульфидных руд Джезказганского месторождения формируется вследствие активного водообмена подземных растворов от

хлоридно-натриевого состава до гидрокарбонатно-сульфатного с минерализацией 1–3 г/л (Аубакирова, Муканов, 1974). Это приводит к образованию минералого-геохимической зональности, характерной также для верхних горизонтов низкотемпературных гидротермальных систем. Кроме того, во многих случаях сложно отличить глинистые породы, являющиеся продуктами автометасоматоза или приконтактового метасоматоза, от аргиллитов кор выветривания (Дурагина, 2015; Лазаренков и др., 2006; Штейнберг, Чашухин, 1978). Таким образом, проблема установления генезиса аргиллизированных пород остается весьма актуальной для геологических структур разных геодинамических обстановок.

В областях современного вулканизма глины приурочены к участкам разгрузки термальных растворов и представляют большой интерес для оценки влияния глубинных эндогенных процессов на верхние горизонты земной коры. Им посвящены классические работы Д.С. Коржинского (1951, 1982), С.И. Набоко (1980), В.Л. Русинова (1989), Б.И. Омеляненко (1989), В.А. Ерошева-Шака (1992), Дж. Хэмли, В. Джонса (Hemley, Jones, 1964), А. Рейес (Reyes, 1990) и др. Исследованы химические и минеральные составы аргиллизированных пород, восстановлена общая вертикальная зональность гидротермальных глин, образующихся в результате “вулканогидротермального литогенеза в определенных гидрогеохимических средах при изменении рН и температур растворов и термальных грунтов” (Ерошев-Шак, 1992). Д.С. Коржинский показал, что аргиллизация вулканитов происходит в ходе регрессивной направленности гидротермальных процессов: снижения  $P$ - $T$  параметров восходящих флюидов и смены геохимического режима (Коржинский, 1982).

Таким образом, при изучении аргиллизированных отложений в областях современного вулканизма практически не возникает сомнений в гидротермально-метасоматической природе этих пород (кроме озерных, лагунных и подобных им осадков). Их образование связано с определенными геологическими структурами – долгоживущими гидротермально-магматическими системами (Рычагов, 2003) и происходит как в зоне гипергенеза, так и в недрах систем: геотермальным бурением выявлены зоны аргиллизации пород мощностью до нескольких десятков метров на глубинах  $\geq 500$  м (Коробов, 1992; Рычагов и др., 1994). Показана роль аргиллизированных пород как индикаторов изменения температурного режима и физико-химических параметров геотермальной среды (Русинов, 1989; Рычагов, 2003).

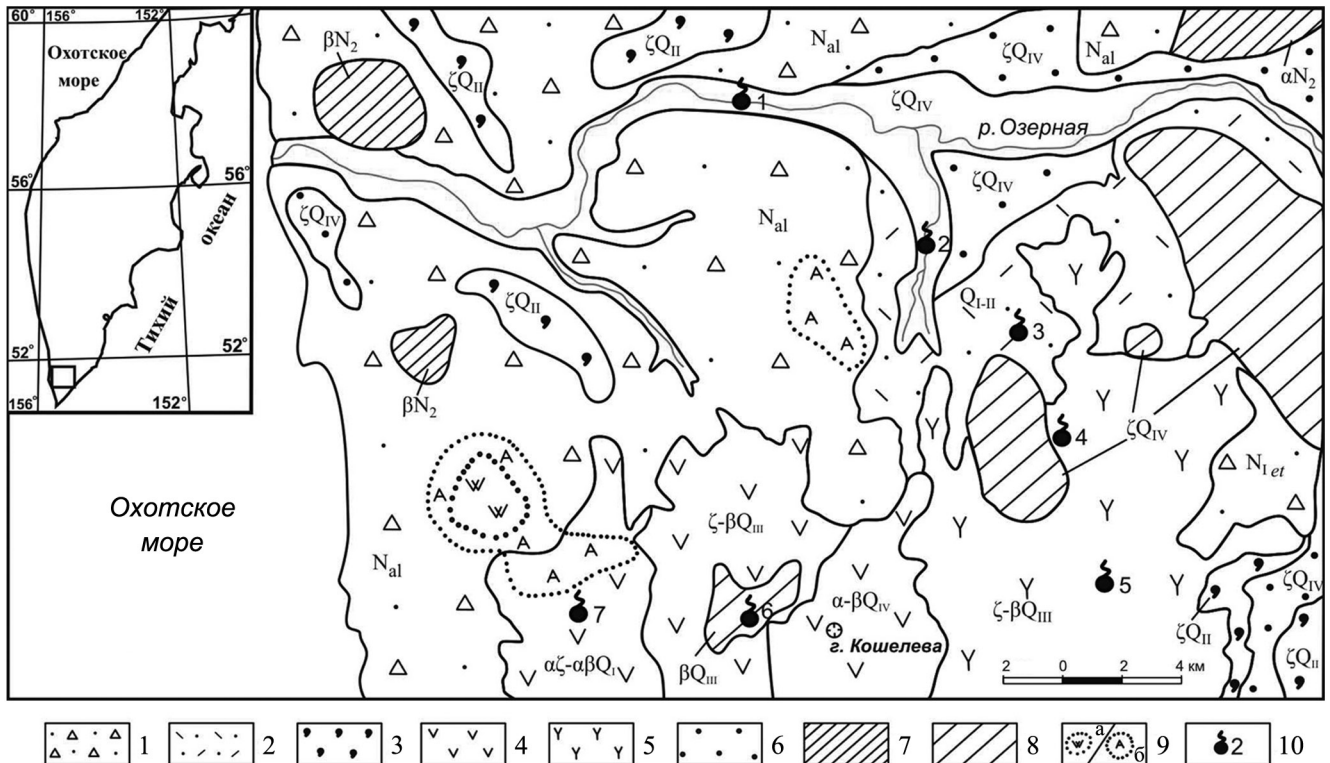
Вместе с тем детальные исследования последних лет позволяют выделить следующие важнейшие аспекты генезиса и условий образования аргиллитов. Во-первых, они формируются на всех этапах эволюции гидротермально-магматических

систем (прогрессивном, экстремальном и регрессивном (Рычагов, 2003)), но для каждого этапа характерны свои особенности состава и геохимической специализации глин (Рычагов и др., 2012а). Данное обстоятельство, вероятно, не противоречит общей теории Д.С. Коржинского, но требует дополнительного анализа проблемы. Во-вторых, вблизи дневной поверхности и на ней глины образуют достаточно мощные (метры и десятки метров) и протяженные (до нескольких километров) толщи новообразованных пород, имеющие большое значение в структуре гидротермальных систем – как водоупоры и тепловые экраны, к ним приурочены и комплексные геохимические барьеры (Пампура, Сандимирова, 1991; Рычагов, Щегольков, 2011; Рычагов и др., 2008, 2009, 2012б; Rychagov et al., 2015). Это привлекает повышенное внимание ученых в связи с возможностью получения новых сведений о геохимии и источниках глубинных металлоносных флюидов (Рычагов и др., 2010). Кроме того, изучение аргиллитов областей современного вулканизма позволит получить дополнительные критерии распознавания глинистых пород древних геологических структур.

На примере термоаномалий Паужетско-Камбальско-Кошелевского геотермального (рудного) района Южной Камчатки мы предложили сравнительную характеристику строения и условий образования толщи глин, рассмотрели их минералогию, микро- и наноструктуру, геохимию, привели отдельные литологические разрезы (Рычагов и др., 2008, 2009). Вместе с тем за 10-летний период исследований коллектива накоплен огромный материал по литологии гидротермальных глин. Настоящая работа посвящена обобщению данных по литологическому строению толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии (наиболее изученного в этом плане объекта Ю. Камчатки) в целях получения минералого-геохимических критериев выделения основных горизонтов глин и построения модели перерождения исходных пород в аргиллиты.

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены в Паужетско-Камбальско-Кошелевском геотермальном (рудном) районе Южнокамчатской геотермальной провинции (Аверьев, 1966; Рычагов и др., 2008; Сугробов, 1979) (рис. 1). Район представляет собой долгоживущий вулканогенно-рудный центр – крупную тектономагматическую структуру южной оконечности Камчатки, развивавшуюся с раннего олигоцена по голоцен (Апрелков, 1971; Белоусов, 1978; Долгоживущий центр..., 1980; Прогнозная оценка..., 1977). Породы района характерны для островодужного комплекса и составляют три структурных яруса (Геолого-геофизический атлас..., 1987). Нижний



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Паужетско-Камбально-Кошелевского геотермального (рудного) района Южной Камчатки. Составлена на основании обобщения материалов научных исследований и государственных геологических съемок масштаба 1 : 200 000.

1 – лавопирокластические отложения фундамента ( $N_{al}$ , алнейская свита, неоген); 2 – вулканогенно-осадочные отложения (туффиты) паужетской свиты нижне-среднечетвертичного возраста ( $Q_{I-II}$ ); 3 – игнимбриты среднечетвертичного возраста ( $Q_{II}$ ); 4 – магматический комплекс Кошелевского вулканического массива: андезиты – андезибазальты нижнечетвертичного возраста западной части ( $\alpha\zeta-\alpha\beta Q_I$ ), дациты – базальты среднечетвертичного возраста центральной части ( $\zeta-\beta Q_{III}$ ), андезибазальты верхнечетвертичного возраста восточной части ( $\alpha-\beta Q_{IV}$ ); 5 – лаво-экструзивный комплекс пород от дацитов до базальтов Камбального вулканического хребта ( $\zeta-\beta Q_{III}$ ); 6 – пемзовые отложения дацитов – риолитов верхнечетвертичного возраста ( $\zeta Q_{IV}$ ); 7 – субвулканические и экструзивные тела основного состава неогенового возраста; 8 – то же, контрастного состава (от базальтов до дацитов) средне-верхнечетвертичного возраста ( $\beta Q_{III}$ ,  $\zeta-\beta Q_{III}$ ,  $\zeta Q_{IV}$ ); 9 – поля вторичных кварцитов (а) и аргиллизитов (б) в районе палеогидротермальной системы “Третья Речка”; 10 – основные геотермальные аномалии: 1 – Первые Горячие Ключи (Пионерлагерь), 2 – Вторые Горячие Ключи (Паужетское геотермальное месторождение), 3 – Северо-Камбальная, 4 – Центрально-Камбальная, 5 – Южно-Камбальная, 6 – Верхне-Кошелевская, 7 – Нижне-Кошелевская.

**Fig. 1.** Schematic geological map of Pauzhetsky-Kambalny-Koshelevsky geothermal (ore) area of Southern Kamchatka. It is made on the basis of generalization of materials scientific researches and the state geological surveying of 1 : 200 000 scale.

1 – lavas and pyroclastic deposits of Neogene ( $N_{al}$ , Alney formation, Neogene); 2 – volcano-sedimentary deposits (tuffites) of Pauzhetka formation, Low – Middle Quaternary age ( $Q_{I-II}$ ); 3 – ignimbrites of Middle Quaternary age ( $Q_{II}$ ); 4 – magmatic complex of Koshelevsky massive: andesites-dacites and andesites-basalts, Low Quaternary age of western part ( $\alpha\zeta-\alpha\beta Q_I$ ), dacites-basalts by Middle Quaternary age of the central part ( $\zeta-\beta Q_{III}$ ), andesites-basalts by Upper Quaternary age of eastern part ( $\alpha-\beta Q_{IV}$ ); 5 – lavas and extrusions of dacites up to basalts of Kambal'ny volcanic ridge ( $\zeta-\beta Q_{III}$ ); 6 – pumiceous deposits of dacites and riolites by Upper Quaternary age ( $\zeta Q_{IV}$ ); 7 – subvolcanic and extrusive bodies of Neogene age; 8 – the same, basalts-dacites by Middle and Upper Quaternary age ( $\beta Q_{III}$ ,  $\zeta-\beta Q_{III}$ ,  $\zeta Q_{IV}$ ); 9 – quartzites (a) and hydrothermal argillite (b) in area of paleohydrothermal system “Tret'ya Rechka”; 10 – the basic geothermal anomalies: 1 – First Hot Springs, 2 – Second Hot Springs (Pauzhetskoe geothermal deposit), 3 – North Kambalny, 4 – Central Kambalny, 5 – Sourthern Kambalny, 6 – Verkhne-Koshelevsky, 7 – Nizhne-Koshelevsky.

ярус олигоцен-среднемиоценового возраста представлен туффитами, лавами и туфами от базальтов до дацитов и вмещает интрузивные тела контрастного состава (от габбро до плагиогранитов). Средний ярус миоцен-плиоценового возраста сложен вулканогенно-осадочными породами с прослоями

лав и туфов основного и среднего состава. Верхний ярус отражает четвертичный (плейстоцен-голоценовый) этап развития Курило-Камчатской островной дуги и представлен андезитами и их туфами, а также (в меньшем объеме) базальтами и риолитами. К этому ярусу относится Кошелевский

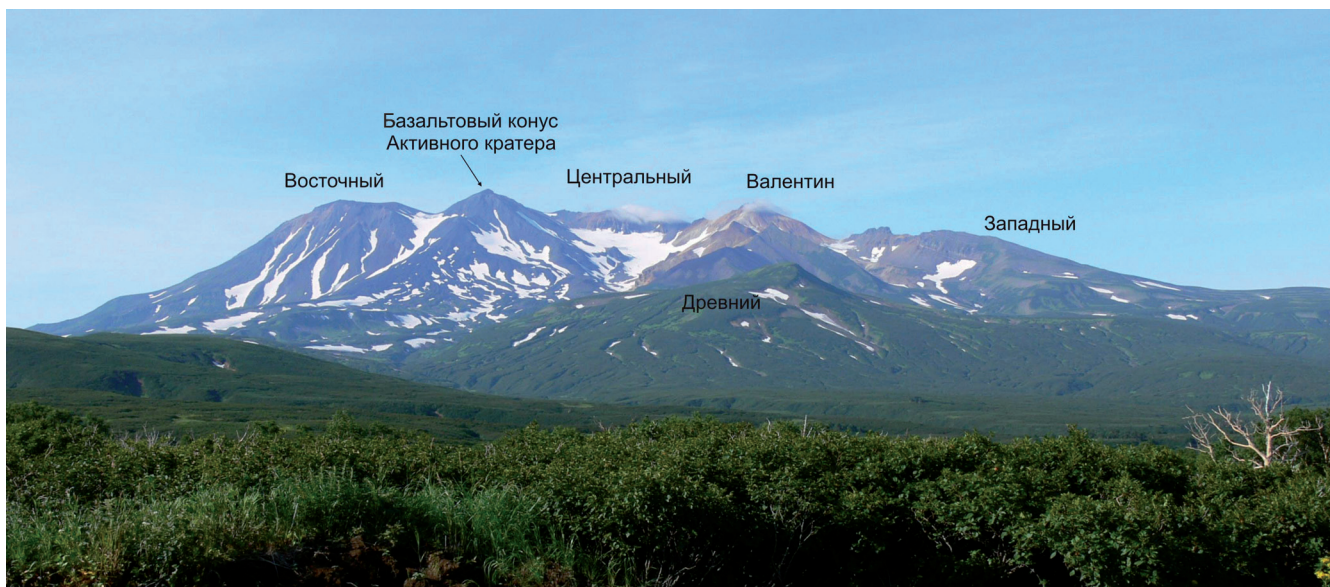
вулканический массив, в пределах которого образованы крупные геотермальные аномалии Верхне- и Нижне-Кошелевская. Последняя является непосредственным объектом детальных литологических исследований, результаты которых изложены в настоящей статье.

### Кошелевский вулканический массив

Кошелевский вулканический массив представляет собой одну из наиболее сложных вулканических построек Камчатки (рис. 2). Он состоит из пяти сросшихся полуразрушенных стратовулканов (Древний, Западный, Валентин, Центральный и Восточный) и многочисленных более мелких моногенных структур (экструзий, шлаковых конусов, кратеров взрывного и эрозионного типов и др.) (Долгоживущий центр..., 1980). Массив (на географических картах он обозначен как вулкан Кошелева) расположен в зоне сочленения трех вулканических поясов: Восточно-, Центрально- и Западно-Камчатского. Он образован вследствие подъема расплава из крупного периферического магматического очага, сформировавшегося на пересечении основных южнокамчатских разломных зон (Вакин и др., 1976; Лебедев, Декусар, 1980; Поздеев, Нажалова, 2008). В целом это типичный андезитовый вулкан, локализованный на границе южнокамчатского и северокуруильского сегментов островной дуги, разделенных сквозькоровыми разломами на региональные тектонические блоки.

Сквозькоровый характер разломов подтверждается геолого-геофизическими данными (Долгоживущий центр..., 1980), изотопно-геохимическими исследованиями (Поздеев, Нажалова, 2008; Поляк и др., 1979), сведениями о наличии в составе газоводных флюидов глубинных компонентов, в том числе ряда углеводородов, вплоть до тяжелых (Лебедев, Декусар, 1980; Писарева, 1987; Поздеев, Нажалова, 2008). В основании Кошелевского вулканического массива залегают породы среднего структурного яруса (см. ранее). Для них характерно проявление интенсивных гидротермально-метасоматических процессов за счет развития в фундаменте массива нескольких (или единой крупной) палеогидротермальных систем: породы изменены до вторичных кварцитов, монокварцитов и аргиллизитов и вмещают кварц-карбонат-сульфидные жилы и рассеянную рудную минерализацию. Современная гидротермальная система, с которой ассоциируют Верхне- и Нижне-Кошелевская геотермальные аномалии (далее – г/а), вероятно, наследует основные структуры фундамента массива (Вакин и др., 1976; Калачева и др., 2016; Рычагов, 2014).

В районе Нижне-Кошелевской г/а в 1975–1984 гг. разведано одноименное пародоминирующее геотермальное месторождение. Его прогнозные ресурсы оцениваются в 210 кг/с сухого пара, что может обеспечить работу электрической станции мощностью 94 МВт в течение 100 лет (Писарева, 1987; Стратегия развития..., 2001). Бурением скважин глубиной до 1.5 км вскрыта область перегретой па-



**Рис. 2.** Кошелевский вулканический массив: вид с севера, со стороны Паужетского геотермального месторождения. Обозначены слагающие массив стратовулканы и наивысшая отметка постройки (1812 м) – базальтовый конус Активного кратера. Фото С.Н. Рычагова.

**Fig. 2.** Koshelevsky volcanic massif: a views from the North on the Pauzhetka geothermal deposit. The stratovolcans and the highest of massif (1812 m) – a basalt cone of the Active crater are designated. Photo by S.N. Rychagov.

рогазовой смеси, пространственно тяготеющая к апикальной части многофазной интрузии диоритов и диоритовых порфиритов и распространяющаяся на глубину  $\geq 1.5$  км. В последние годы на основании комплексных геолого-геофизических, в том числе микросейсмических, исследований установлено, что область перегретого парагазового теплоносителя контролируется субвертикальными зонами повышенной трещинно-поровой проницаемости пород, пересекающими интрузию и погружающимися на глубину  $\geq 5$  км (Абкадыров и др., 2010; Рычагов, 2014; Abkadyrov et al., 2015). Повышенный интерес к месторождению вызван также обнаружением углеводородов в составе спонтанного и растворенного газа: от метана до  $C_7H_{12}$  и др. (Лебедев, Декусар, 1980). Содержание  $CH_4$  на Западном участке месторождения достигает 67% от объема сухого газа. В течение нескольких лет после бурения наблюдалось горение углеводородов на оголовке разведочной скважины П-3. Таким образом, установлено влияние глубинного флюида на зону разгрузки парогидротерм на данном участке Кошелевского вулканического массива.

#### Нижне-Кошелевская геотермальная аномалия

Нижне-Кошелевская г/а приурочена к вулкану Западный Кошелевского вулканического массива. Расположена в овально-кольцевой отрицатель-

ной геоморфологической структуре, вытянутой на 500 м вдоль глубоко врезанного оврага руч. Гремучий (рис. 3). Ручей берет начало из-под многолетних снежников на восточной границе структуры. Наиболее типичными термальными проявлениями служат парагазовые струи, грязеводные котлы, пульсирующие водные источники, термальные озера, парящие грунты. Температуры грунтов достигают  $105^\circ C$ , парагазовых струй –  $120^\circ C$ , грязеводных котлов и пульсирующих источников –  $90-98^\circ C$ . Преобладают сульфатные слабокислые до кислых газонасыщенные термальные воды, характеризующиеся сложным катионным составом (Калачева и др., 2016; Рычагов, 2014).

На основании детальных топографических работ и многолетних гидрогеотермических исследований выделяются четыре основных участка по геоморфологическому строению и характеру разгрузки парогидротерм (Калачева и др., 2016; Рычагов и др., 2009) (рис. 4).

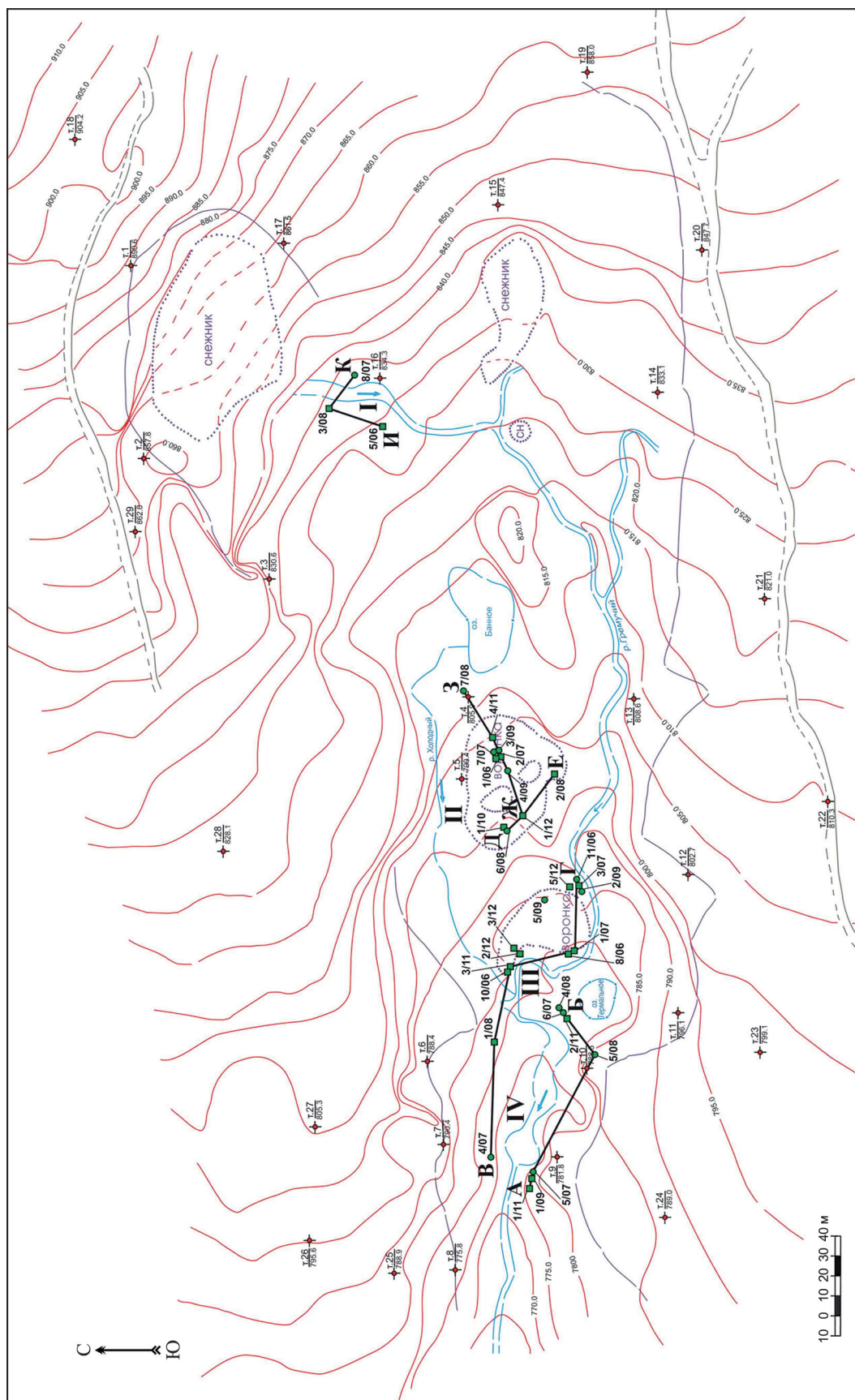
**Участок Верхний** находится в пологой ложбине размером  $20 \times 40$  м, в верховьях правого притока руч. Гремучий. На участке насчитывается около 10 грязеводных котлов диаметром до 30 см и парагазовых струй малой мощности. Температура воды в котлах составляет в среднем  $85-90^\circ C$ , воды слабокислые (рН 5.0–5.5).

**Большая Сухая Воронка (БСВ)** имеет неправильно изометрическую форму размером  $50 \times 60$  м



**Рис. 3.** Основная часть Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии. Вид с ЮЗ на СВ. Фото С.Н. Рычагова.

**Fig. 3.** The basic part of Nizhne-Koshelevskaya geothermal anomaly. A view from the Sourth-West to North-East. Photo by S.N. Rychagov.



**Рис. 4.** Топографический план Нижне-Коселевской геотермальной аномалии (Нуждаев и др., 2009) и положение основных литологических разрезов, приведенных на рис. 5–9.

Горизонтали проведены через 5 м. Знак на схеме “крест с красным центром” – опорные точки топографической съемки (в числителе – номер точки, в знаменателе – абсолютная высота). Вынесены все горные выработки (номер в знаменателе – год проходки): квадраты – шурфы, круги – скважины. Римскими цифрами обозначено местоположение описываемых в тексте статьи участков: I – Верхний, II – Большая Сухая Воронка (БСВ), III – Центральный, IV – Западный.

**Fig. 4.** Topographical map of Nizhne-Koshelevsky geothermal anomaly (Nuzhdaev et al., 2009) and position of the basic lithological sections resulted on fig. 5–9. Horizontals are drawn after 5 m. Sign on the circuit “a cross with the red center” – reference points of topographical shooting (in numerator – number of a point, in a denominator – absolute height). The squares – prospect-holes, circles – wells. By Roman figures designate the sites: I – Verkhniy, II – Bolshaya Sukhaya Voronka (BSV), III – Tsentralnyy, IV – Zapadnyy.

с крутым восточным бортом, плоским дном и несколькими мелкими эрозионными воронками у западной границы и термальными буграми внутри структуры. Под крутым бортом находится крупный грязеводный котел, постепенно передвигающийся в сторону руч. Гремучий. Температура раствора в котле достигает 95°C, рН для всех котлов составляет в среднем 4.1–4.5. От западной части БСВ простирается линейная термальная зона, вдоль которой расположено до 10 парогазовых струй, а на глубине до нескольких метров фиксируются подземные ручьи, интенсивно дренирующие чехол аргиллизированных делювиальных отложений. Температура парогазовых струй достигает 113°C, воды в котлах – 98°C, рН – от 5.3 до 6.8.

**Участок Центральный** расположен в расширении долины руч. Гремучий. Он характеризуется наиболее интенсивной разгрузкой теплоносителя: здесь сосредоточена основная часть парогазовых струй и грязеводных котлов разных размеров. Температура растворов 85–90°C, рН 6.0–6.5. Парогазовые струи трассируют русло ручья и выходят из трещин вдоль всех водораздельных термальных хребтиков и на склонах эрозионных воронок. По левому борту руч. Гремучий в крупной эрозионной воронке расположено оз. Термальное, вдоль береговой линии которого образуются грязеводные котлы с температурой от 67 до 94°C и часто 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 (углекислого, метана, других углеводородов (Лебедев, Декусар, 1980; Поздеев, Нажалова, 2008)) на геохимический и термальный режим участка. Температура воды в котлах достигает 85–95°C, рН 5.5–6.2. В нижней части участка в расширяющейся долине образовано озеро, вся поверхность которого “кипит” из-за обильного газоотделения. Борты долины интенсивно прогреваются за счет выходов парогазовых струй разной мощности, широко развиты оползневые процессы, формирование провалов и эрозионных воронок.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В целях получения наиболее полных характеристик толщи гидротермальных глин были выбраны участки с различными физико-химическими условиями разгрузки парогидротерм и прогрева грунтов, а также на границе г/а. На этих участках пройдены шурфы и скважины колонкового бурения (см. рис. 4). Применялось ручное бурение с колонковыми трубами двух диаметров, позволявших получать достаточный для аналитических исследований объем керна; также использовался буровой станок КМБ2-10 (максимально допустимая глуби-

на бурения 10 м). Всего пройдено 36 горных выработок (21 шурф и 15 скважин), глубина проходки обозначена на разрезах – см. далее. Стенки шурфов и керн скважин детально документировались с послойным отбором проб (в среднем каждые 15–20 см) на разные виды лабораторных исследований. Последние включали химический анализ глин и подстилающих пород методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе S4 PIONEER; описание минерального состава глин и выделенной из них тяжелой фракции и аксессуарных минералов с помощью бинокулярного микроскопа МПСУ-1; количественный минералогический анализ рентгеновскими методами; качественный минералогический анализ с помощью инфракрасной спектроскопии; изучение состава и микростроения глин на растровом электронном микроскопе LEO 1450VP, оснащенный энергодисперсионным спектрометром INCA 300. Лабораторные исследования проведены в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, ИГЕМ РАН, Саратовском государственном университете, на Геологическом факультете МГУ (более детальная информация о методах и исполнителях отмечена в примечаниях к таблицам и подписях к рисункам, см. далее).

#### СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ТОЛЩИ ГЛИН

Предваряя описание разрезов толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской г/а, дадим общую характеристику химического (табл. 1) и минерального (табл. 2) состава глин и подстилающих их исходных пород, в том числе для понимания используемых авторами понятий. Термины “сернокислотное выщелачивание” и “углекислотное выщелачивание” трактуются в полном соответствии с представлениями Д.С. Коржинского (1982), В.А. Ерощева-Шака (1992), А.Д. Коробова (1994) и других исследователей. Как показано далее, зона сернокислотного выщелачивания завершает разрез толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской г/а. “Синими глинами” мы называем гидротермальные глины, где содержание пирита (основного сульфида, но также марказита и др. – см. табл. 2) превышает 10–15 об. %. В отдельных слоях и линзах “синих глин” концентрация сульфидов может достигать 90 об. % (Рычагов и др., 2008, 2009; Структура гидротермальной системы, 1993). В разрезах толщи глин Нижне-Кошелевской г/а выделяются также горизонты с разной степенью пиритизации (менее интенсивной, чем в “синих глинах”) аргиллизированного субстрата.

**Разрез А–Б** (рис. 5) характеризует строение толщи гидротермальных глин по левому борту руч. Гремучий от Центрального участка к Западному. Во всех выработках на забое подсекается горизонт с большим количеством обломков горных пород. Этот горизонт образует жесткое основание толщи,

**Таблица 1.** Химический состав отложений (мас. %) в разрезе толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии  
**Table 1.** Chemical compound of deposits (wt %) in a hydrothermal clays section of Nizhne-Koshelevskaya geothermal anomaly

Номер пробы	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	П.п.п.	Sum	S	F
Западный участок, разрез А-Б																
НК-1/11-1	43-71	48.3	1.21	23	10.4	0.62	0.132	0.77	0.697	0.433	0.45	0.132	13.4	99.54	0.119	0.123
НК-1/11-2	71-103	48.7	1.23	23.9	8.16	0.55	0.077	0.79	0.732	0.436	0.505	0.076	13.6	98.76	1.23	0.124
НК-1/11-3	103-121	54.1	1.04	21	6.59	0.5	0.093	0.51	0.951	0.797	1.31	0.051	11.4	98.34	1.5	0.099
НК-1/11-4	121-140	54.2	1	20.4	6.42	0.52	0.142	0.99	1.7	1.13	1.83	0.034	10.4	98.77	1.13	0.097
НК-1/11-5	140-160	53	1.03	19.2	6.29	0.81	0.213	1.69	3.45	0.719	1.4	0.033	10.9	98.74	0.972	0.088
НК-1/11-6	160-180	60.6	0.884	18.1	5.11	0.53	0.125	1.13	1.02	1.29	2.21	0.031	8.28	99.31	0.66	0.068
НК-1/11-7	180-205	60.9	0.798	16.8	4.9	0.58	0.121	1.22	0.993	1.18	2.04	0.029	9.84	99.4	0.497	0.065
НК-1/11-8	205-230	61	0.824	16.9	2.56	2.77	0.133	1.39	0.987	1.2	2.06	0.029	9.63	99.48	0.448	0.066
НК-1/11-9	230-250	60.2	0.793	16.8	5.36	0.96	0.122	1.72	0.981	1.23	1.92	0.028	9.44	99.55	0.38	0.063
НК-1/11-10	250-270	59.2	0.869	17.2	5.38	1.6	0.149	1.75	1.08	1.18	2.05	0.029	9.53	100.02	0.158	0.071
НК-1/11-5обр	140-160	60.9	0.806	16.9	4.66	1.14	0.079	1.71	0.752	2.23	2.26	0.078	6.61	98.13	1.78	0.071
НК-1/11-6обр	160-180	64	0.746	14.8	5.26	1.04	0.085	3.63	0.702	3.46	2.32	0.193	3.05	99.49	0.399	0.042
Центральный участок, разрез В-Г																
НК-2/09-1	0-20	54.35	1.432	20.78	8.59	0.72	0.068	0.01	2.183	0.174	0.372	0.168	10.65	99.5	0.514	0.01
НК-2/09-2	20-40	54.98	1.551	21.69	7.93	0.72	0.081	0.01	1.694	0.188	0.173	0.102	10.48	99.6	0.432	0.01
НК-2/09-3	40-60	54.31	1.073	21.94	2.434	4.32	0.045	0.029	1.305	0.189	0.114	0.181	13.7	99.64	2.115	0.01
НК-2/09-4	60-80	49.49	0.823	19.27	5.573	2.88	0.051	0.221	1.598	0.201	0.097	0.312	17.71	98.23	3.693	0.002
НК-2/09-5	80-100	55	0.843	17.93	7.346	1.08	0.066	0.728	2.032	0.193	0.207	0.24	14.41	100.08	2.617	0.025
НК-2/09-6	100-120	52.11	0.93	15.93	6.783	2.23	0.11	1.615	2.642	0.308	0.545	0.363	14.34	97.91	2.07	0.026
НК-2/09-7	120-140	54.02	0.956	15.97	5.398	3.46	0.151	2.011	3.074	0.259	0.818	0.479	12.16	98.76	1.202	0.036
НК-2/09-8	140-160	52.11	0.9	14.92	7.303	0.93	0.14	2.025	2.952	0.277	1.624	0.356	11.55	95.09	1.193	0.033
НК-2/09-9	160-180	54.25	0.908	14.27	5.781	2.88	0.181	2.074	3.441	0.285	2.333	0.455	11.88	98.74	1.213	0.045
НК-2/09-10	180-195	46.67	0.736	12.15	9.259	1.72	0.332	2.24	6.714	0.438	0.506	0.33	9.91	91.01	0.56	0.064
НК-2/09-11	195-211	52.06	0.94	14.68	8.185	3.38	0.293	3.206	4.389	0.484	0.864	0.572	9.79	98.84	1.14	0.013
Большая Сухая воронка, разрез Д-Е																
НК-1/10-1	7-27	55.5	1.39	24.6	3.53	0.79	0.035	0.065	0.168	0.315	0.266	0.12	13.1	99.88	0.469	0.102
НК-1/10-2	27-47	53.4	0.813	17.8	7.3	1.37	0.027	0.035	0.227	0.265	0.098	0.068	17.2	98.6	1.34	0.072
НК-1/10-3	47-67	54.1	0.836	18.5	3.67	1.87	0.031	0.055	0.379	0.254	0.072	0.085	16.5	96.35	1.46	0.074
НК-1/10-4	67-87	54.7	1.13	22.9	4.09	0.65	0.063	0.431	0.723	0.288	0.172	0.065	13.7	98.91	0.994	0.084
НК-1/10-5	87-107	58.6	0.878	16.4	3.47	2.74	0.125	1.5	1.69	0.52	0.831	0.062	12	98.82	1.05	0.065
НК-1/10-6	107-127	55.6	0.957	18.1	4.58	0.94	0.182	2.68	2.77	0.658	0.949	0.125	12.1	99.64	0.327	0.075
НК-1/10-7	127-147	58.5	0.889	15.4	6.45	1.37	0.126	2.44	1.89	0.7	0.89	0.063	11.5	100.22	0.445	0.069
НК-1/10-5обр	90	63.5	0.728	14.4	3.27	1.84	0.091	4.26	0.872	2.98	1.62	0.229	5.83	99.62	0.349	0.039
НК-1/10-5обр2	90	85.1	0.047	1.85	0.24	0.62	0.022	2.12	0.152	0.374	0.279	0.116	8	98.92	0.978	0.01
НК-1/10-7обр	140	90.5	0.102	2.13	0.13	1.7	0.036	0.853	0.414	0.291	0.138	0.086	3.59	99.97	0.06	0.01
Большая Сухая воронка, разрез Ж-З																
НК-3/09-1	0-20	33.23	3.078	25.59	0.44	0.14	0.005	0.068	0.256	0.986	3.286	0.555	30.57	98.2	9.14	0.053
НК-3/09-2	20-40	43.91	1.123	22.56	1.58	1.44	0.011	0.01	0.278	0.436	1.7	0.198	22.23	95.48	3.82	1.012
НК-3/09-3	40-60	51.13	1.04	21.36	1.864	1.15	0.012	0.01	0.0268	0.325	1.179	0.141	18.57	96.81	3.226	0.026
НК-3/09-4	60-80	53.37	0.931	22.18	3.258	0.86	0.017	0.01	0.32	0.239	0.548	0.091	18.04	99.86	2.242	0.018

Таблица 1. Окончание  
Table 1. Ending

Номер пробы	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	П.п.п.	Sum	S	F
НК-3/09-5	80-90	52.37	0.84	20.94	4.64	0.72	0.024	0.012	0.462	0.279	0.597	0.118	15.77	96.77	3.22	0.016
НК-3/09-6	90-100	54.95	0.879	20.58	3.58	0.64	0.026	0.065	0.514	0.349	0.914	0.144	17.66	100.3	2.76	0.042
НК-3/09-7	100-120	56	0.826	19.17	4.86	0.43	0.033	0.12	0.655	0.266	0.524	0.135	15.54	98.56	2.128	0.029
НК-3/09-8	120-140	56.63	0.771	18.02	6.97	0.36	0.045	0.392	0.592	0.431	0.393	0.117	13.76	98.48	2.3	0.029
НК-3/09-9	140-160	54.27	0.805	17.71	5.72	1.29	0.048	0.723	0.697	0.688	0.387	0.123	13.3	95.76	1.488	0.031
НК-3/09-10	160-180	54.45	0.7	15.58	6.358	1.08	0.052	0.711	0.753	0.674	0.969	0.178	16.57	98.08	2.97	0.043
НК-3/09-11	180-200	54.41	0.664	14.93	4.51	1.22	0.051	0.671	0.84	0.73	1.613	0.21	18.21	98.06	4.187	0.042
НК-3/09-12	200-220	57.12	0.779	17.41	3.71	1.15	0.07	0.928	1.096	0.643	1.277	0.213	16.03	100.43	2.3	0.045
НК-3/09-13-1	220-230	64.2	0.786	15.92	3.37	0.57	0.074	0.826	0.772	0.419	0.696	0.192	11.34	99.17	0.983	0.035
НК-3/09-13-2	230-235	67.75	0.764	15.18	1.268	0.65	0.045	0.385	0.242	0.287	0.683	0.155	11.79	99.2	0.76	0.03
НК-3/09-13-3	235-240	70.38	0.8	16.68	1.09	0.57	0.045	0.411	0.239	0.298	0.596	0.148	9.14	100.4	0.5	0.026
НК-3/09-14	240-260	60.97	0.829	17.69	3.76	0.57	0.102	1.443	1.397	0.646	0.631	0.199	11.09	99.33	0.578	0.039
НК-3/09-15	260-280	62.82	0.822	18.89	3.145	0.57	0.085	1.132	1.121	0.531	0.658	0.179	10.52	100.47	0.659	0.036
НК-3/09-16	280-290	60.48	0.943	18.53	2.659	0.57	0.082	0.982	1.05	0.488	0.684	0.186	12.52	99.17	0.775	0.049
НК-3/09-3обр	40-60	57.61	0.85	16.39	0.124	0.5	0.011	0.136	0.142	0.612	2.534	0.267	21.15	100.33	4.441	0.056
НК-3/09-5обр	80-90	60.72	0.777	15.96	0.183	1.94	0.027	0.511	0.302	0.848	1.938	0.2	16.7	100.11	2.877	0.04
НК-3/09-6обр	90-100	63.3	0.75	19.64	0.93	0.29	0.019	0.193	0.162	0.392	0.848	0.192	11.81	98.53	1.442	0.037
НК-3/09-11обр	180-200	62.82	0.7	13.76	1.62	1.66	0.042	0.428	0.263	0.633	1.806	0.269	16.94	100.94	3.18	0.049
Верхний участок, разрез И-К																
НК-3/08-1	5-30	52.2	1.71	21.5	4.99	1.01	0.066	0.151	2.65	0.203	0.907	0.067	14	99.45	0.453	0.099
НК-3/08-2	30-50	64.3	1.35	19.9	6.94	0.79	0.073	0.16	2.56	0.21	0.817	0.072	0.2	97.37	1.14	0.057
НК-3/08-3	50-75	63	1.3	18.2	7.11	0.86	0.073	0.275	2.54	0.192	0.691	0.035	4.4	98.68	1.32	0.048
НК-3/08-4	75-95	62.5	1.38	19.1	7.42	0.278	0.114	0.87	3.16	0.186	0.698	0.031	2.8	98.54	1.21	0.051
НК-3/08-5	95-115	63.6	1.34	5.31	6.51	0.94	0.131	1.43	3.47	0.187	0.679	0.026	15.2	98.82	1.13	0.03
НК-3/08-6	115-135	57.6	1.3	18.1	6.25	0.43	0.134	1.47	3.57	0.175	0.717	0.022	9.2	98.97	0.917	0.05
НК-3/08-8	155-175	57.2	1.25	19.7	5.79	0.64	0.191	1.3	3.99	0.169	0.44	0.039	8	98.71	1.24	0.056
НК-3/08-9	175-195	61.1	1.31	19.9	5.38	0.94	0.217	1.55	5.11	0.182	0.974	0.032	3.33	100.03	0.879	0.05
НК-3/08-10	195-220	60.3	1.27	18.8	5.52	0.94	0.197	1.69	4.89	0.182	0.984	0.048	4.12	98.94	0.928	0.048
НК-3/08-11	220-240	63.5	1.27	20	5.4	0.94	0.152	1.81	4.77	0.188	0.964	0.053	0.2	99.25	0.974	0.044
НК-3/08-12	240-260	59.8	1.39	19.6	6.32	0.94	0.173	1.85	4.43	0.19	0.229	0.051	4.2	99.17	0.875	0.055
НК-3/08-13	260-280	57	1.25	17.6	6.96	1.01	0.135	1.84	3.31	0.189	0.238	0.19	9	98.72	1.14	0.056

Примечание. Данные получены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН на рентенофлуоресцентном спектрометре S4 PIONEER. Аналитики Е.В. Карташева, Н.Ю. Курносова, Н.И. Чеброва, В.М. Рогулина.

Note. The data are received in Analytical Centre of Institute of Volcanology and Seismology FED RAS (IVaS FED RAS) on spectrometer S4 PIONEER. Analysts E. V. Kartasheva, N.Yu. Kurnosova, N.I. Chebrova, V.M. Rogulina.

**Таблица 2.** Минеральный состав толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии**Table 2.** Mineral composition of Nizhne-Koshelevsky geothermal anomaly hydrothermal clays

Зона аргиллизации	Преобладающие минералы	“Второстепенные” минералы (содержание которых обычно не превышает 1–2 об. %)
Сернокислотного выщелачивания	Каолинит Сульфаты (гипс, барит, ярозит) Лимонит Самородная сера Опал	Смектиты Пирит, марказит $\alpha$ -кварц
Углекислотного выщелачивания, включая “синие глины”	Смектиты Пирит, марказит Опал, $\alpha$ -кварц	Сульфаты Fe, Ca, K, Ba, Al, Mg Каолинит Смешанослойные (хлорит-смектиты, иллит-смектиты) Гематит
Переход к жесткому основанию толщи глин	Смектиты $\alpha$ -кварц, опал, кристобалит Пирит Гематит	Смешанослойные (хлорит-смектиты, иллит-смектиты) Альбит Микроклин Сульфиды Zn, Cu, Hg
Исходные породы (аргиллизированные андезиты)	Основные породообразующие минералы (полевые шпаты, пироксены, кварц, стекло, магнетит, титаномагнетит) Смектиты $\alpha$ -кварц	Смешанослойные (хлорит-смектиты, иллит-смектиты) Гидрослюды Альбит Микроклин, адуляр Высококремнистые цеолиты Сульфиды Fe, Zn, Cu, Hg Гематит

Примечание. Обобщены материалы, опубликованные в работах: Коробов, 1994; Рычагов и др., 2008, 2012; Структура..., 1993. Данные получены следующими методами: 1) стандартными рентгеноструктурным и термогравиметрическим (докт. геол.-мин. наук А.Д. Коробов, Саратовский ГУ), 2) рентгенографическим (канд. геол.-мин. наук В.Г. Шлыков, Геологический факультет МГУ), 3) рентгеновской дифракцией (канд. геол.-мин. наук В.В. Крупская, ИГЕМ РАН), 4) инфракрасной спектроскопией (канд. хим. наук А.В. Сергеева, ИВиС ДВО РАН), 5) минералогическим анализом тяжелой фракции шлихов с помощью бинокулярного микроскопа МПСУ-1 (О.В. Кравченко, ИВиС ДВО РАН).

Note. The materials published in papers: Korobov, 1994; Rychagov et al., 2008, 2012; Structure..., 1993 are generalized. The data are received by the following methods: 1) standard X-ray diffraction and thermogravimetric (Dr. A.D. Korobov, Saratov State University), 2) X-ray-graphic (Dr. V.G. Shlykov, Geological Faculty of Moscow State Univ.), 3) X-ray diffraction (Dr. V.V. Krupskaya, IGEM RAS), 4) Infra-Red spectroscopy (Dr. A.V. Sergeeva, IVaS FED RAS), 5) the mineralogical analysis of hydrothermal clays heavy fractions on microscope MPSU-1 (O.V. Kravchenko, IVaS FED RAS).

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 г/а эти горизонты перекрываются мощным (65–100 см) слоем пиритизированных глин (“синих”). На Центральном участке (разрез 6/07) “синие глины” залегают сразу на жестком основании. За пределами современной г/а (разрез 5/08) “синие глины” отсутствуют. Толща глин здесь надстраивается тремя горизонтами мелкообломочного делювиального материала, не измененного гидротермально-метасоматическими процессами (см. рис. 5). Разрез внутри г/а завершается типичной для термальных полей зоной сернокислотного выщелачивания (Ерошев-Шак, 1992; Структура гидротермальной системы, 1993). Особенностью разреза в западной части является вер-

тикальное смещение слоев на 110 см (исходя из положения кровли жесткого основания). Такие смещения возможны в результате сбросов отдельных блоков толщи глин на крутом борту руч. Гремучий. При этом верхняя часть просадок заполняется слабо сортированными склоновыми отложениями (см. разрез 1/11). В целом для разреза А–Б характерны:

- слоистое строение;
- относительная выдержанность горизонтов по латерали и вертикали;
- большая мощность толщи “синих глин” (до 110 см), к которой, как показано в наших более ранних работах (Рычагов и др., 2008, 2009, 2010, 2012а, б, 2015), может быть приурочен комплексный геохимический барьер;
- наличие опущенных блоков (образующихся в результате сбросов?) толщи глин на крутых бортах руч. Гремучий, амплитуда вертикальных смещений достигает 100 см и более.

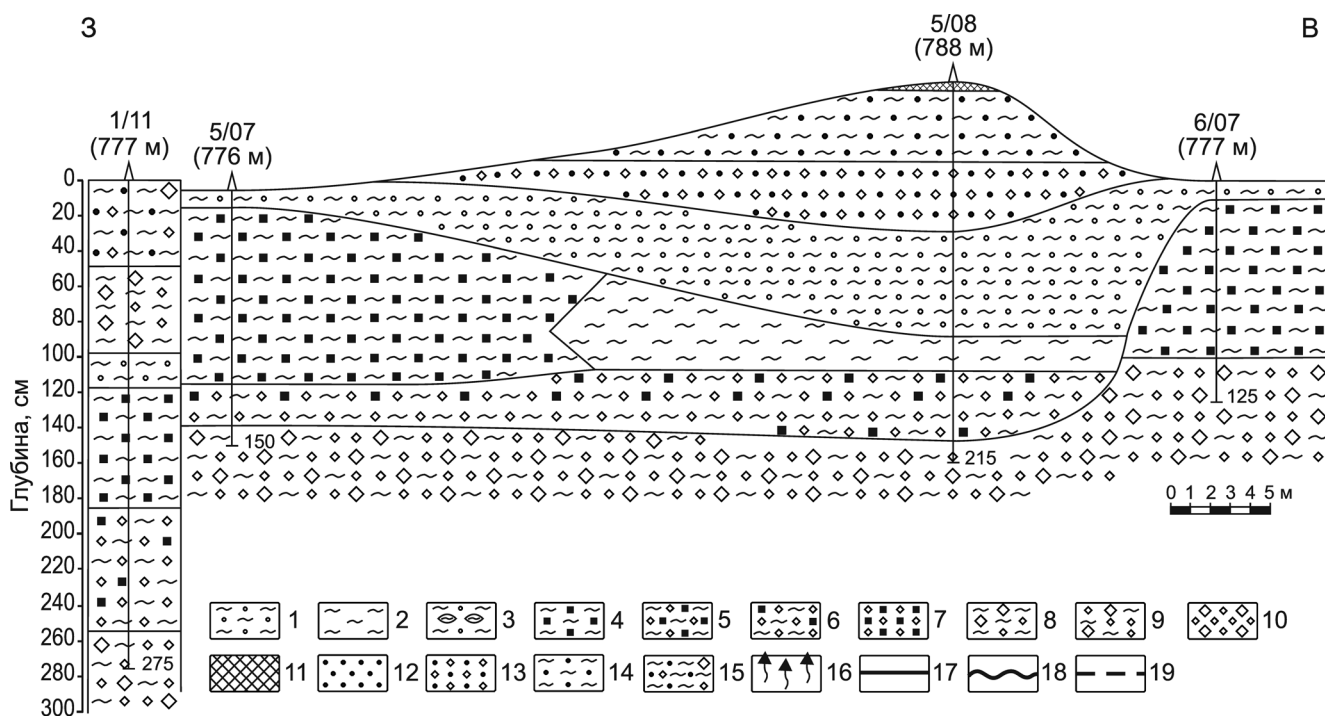


Рис. 5. Литологический разрез по линии А–Б.

Здесь и далее на рис. 6–9: 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. Под номером в скобках – абсолютные отметки точек заложения выработок.

Fig. 5. Lithological cross section A–B.

On this figure and further on figs. 6–9: 1 – hydrothermal clays of a zone of sulphuric leaching; 2 – the same, zone of carbonic leaching; 3 – the same, transition zone; 4 – the same, “blue clays”; 5 – the same, less pyritization, with fragments of rocks; 6 – the same, with a plenty of rocks fragments and with pyrite; 7 – substratum with a plenty of rocks fragments and pyrite, and small contents of clays material; 8 – hydrothermal clays with a plenty of rocks fragments of different sizes; 9 – rocks fragments material with a small content of clays; 10 – material with a small content of clays; 11 – the soil-pyroclastic material; 12 – sandy loam; 13 – sandy loam with rocks fragments; 14 – loam; 15 – loam with rocks fragments; 16 – a large cavity in clays; 17 – equal lithological border; 18 – the same, rough; 19 – lithological (metasomatic?) border, dim or assumed. Under number in brackets – absolute marks of mouth wells.

**Разрез В–Г** (рис. 6) проходит также вдоль руч. Гремучий, но по правому борту и протягивается по латерали до 150 м от Центрального участка к Западному. Толща глин в целом имеет похожее строение в сравнении с таковым разреза А–Б. Выделяются пять 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 числом обломков в разрезе 1/08,

пройденном в верхней части борта ручья, обусловлено, по-видимому, оползневыми процессами – смещениями слабо сортированного 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. 7) построен между выработками, пройденными в толще глин БСВ. В этом разрезе не вскрыто основание толщи по техническим причинам: высокие температуры грунтов в шурфах, струи пара в стенках выработок и крупные по-

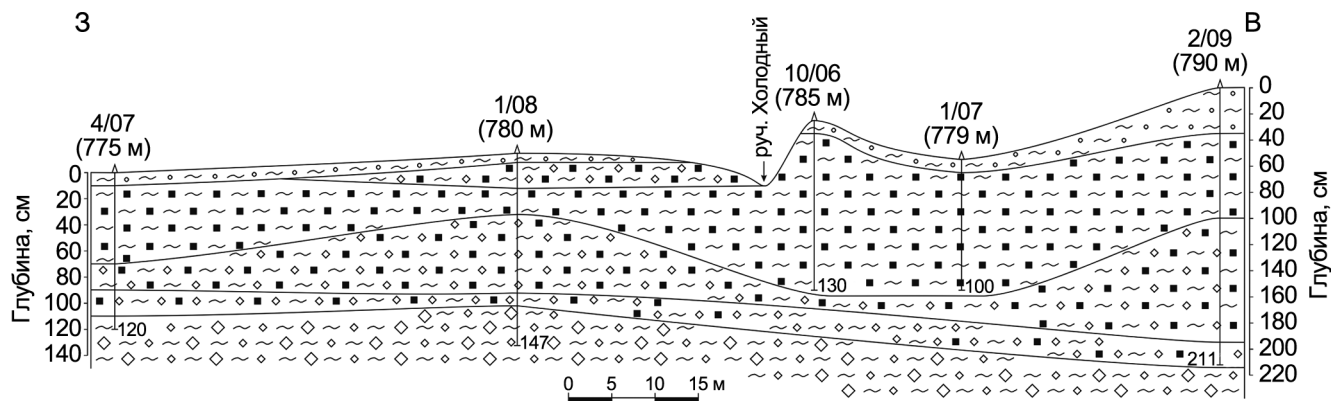


Рис. 6. Литологический разрез по линии В–Г.

Fig. 6. Lithological cross section B–G.

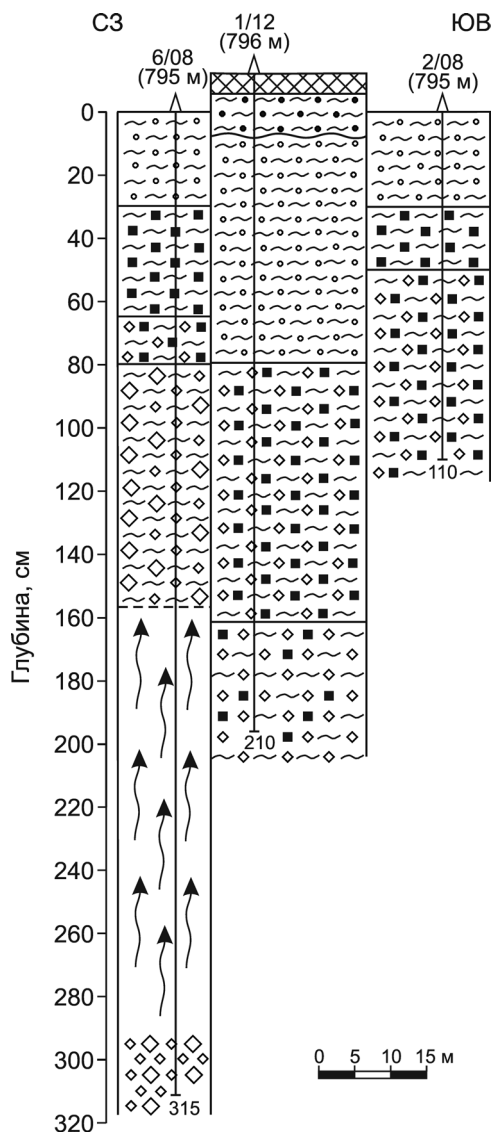


Рис. 7. Литологический разрез по линии Д–Е.

Fig. 7. Lithological cross section D–E.

лости на разных глубинах. Устойчиво выделяются три горизонта (слоя): 1) пиритизированные глины с большим количеством обломков мощностью от 15 до 80 см; 2) “синие глины”, мощность – 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 обнаружены горизонты с большим количеством несортированного обломочного материала в основании полости и над ней. Это свидетельствует о наличии в этой части БСВ подземных водных и парогазовых потоков, вымывающих тонкую глинистую фракцию из толщи глин. Для разреза Д–Е в целом характерно следующее:

- 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 ( $\geq 1$  м) полостей, образованных в результате активного вымывания глинистой фракции и мелких обломков пород подземными термальными потоками.

**Разрез Ж–З** (рис. 8) пересекает все элементы структуры БСВ (краевые зоны и центральный “термальный бугор”). Одной выработкой 3/09 вскрыта зона перехода к жесткому основанию – глины с большим количеством обломков пород (андезитов) разного размера. Другие выработки не достигли этой зоны по техническим причинам, описанным в предыдущем разделе. Строение толщи аргиллитов принципиально схоже с таковым по разрезу Д–Е: горизонт глин с наличием пирита и большим количеством обломков мощностью 40–45 см надстраивается более крупным горизонтом (50–100 см в основной части разреза) пиритизированных глин, включающих полуразложившиеся обломки пород; венчается толща глинами зоны сернокис-

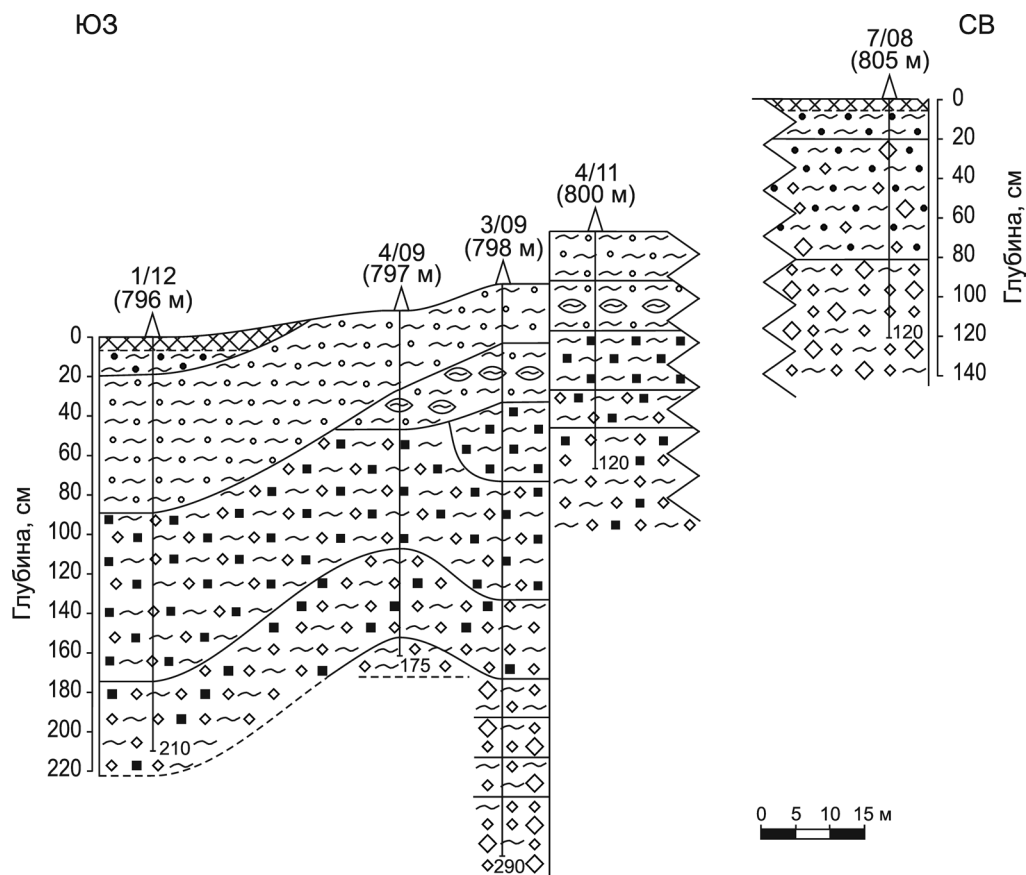


Рис. 8. Литологический разрез по линии Ж-3.

Fig. 8. Lithological cross section Ж-3.

лотного выщелачивания мощностью до 70 см. Под верхней зоной вскрываются участки-блоки-линзы “синих глин”. Только для этого разреза характерны также слои-линзы-блоки глин, переходных по составу от зоны сернокислотного к зоне углекислотного выщелачивания, представляющие собой четкие линзы голубого цвета монтмориллонитовых глин внутри охристых глинах, сложенных каолинитом, ярозитом, гидроокислами железа, серой. В СВ части БСВ вскрываются стратифицированные вулканогенно-осадочные отложения, расположенные за пределами термальной структуры и поэтому не затронутые аргиллизацией. Основная (“термальная”) часть разреза в целом характеризуется следующим:

- высокой сульфидизацией гидротермальных глин (кроме пирита отмечается марказит, в меньшей степени – сульфиды меди, цинка, ртути), большой мощностью таких горизонтов;
- образованием глин, переходных по составу от каолинитовых к монтмориллонитовым и смешанослойным;
- развитием “синих глин” в виде линз или блоков, которые обычно трассируют участки наиболее

интенсивного пропаривания глин парогазовыми 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 вскрыты стратифицированные почвенно-пирокластические отложения (скважина 7/08), не затронутые гидротермально-метасоматическими процессами: эти отложения могут служить исходными (“фоновыми”) для изучения начальных этапов трансформации пород в гидротермальные глины. Разрезы Д-Е и Ж-3 принципиально схожи и характеризуют строение толщи глин БСВ – одной из наиболее примечательных геолого-гидрогеологических структур Нижне-Кошелевской г/а. Повышенная проницаемость основания толщи глин на этом участке может косвенно свидетельствовать о наличии здесь в подстилающих андезитах открытых трещинных зон, по которым парогазовый теплоноситель поднимается к дневной поверхности.

**Разрез И-К** (рис. 9) характеризует строение толщи гидротермальных глин участка Верхний. Раз-

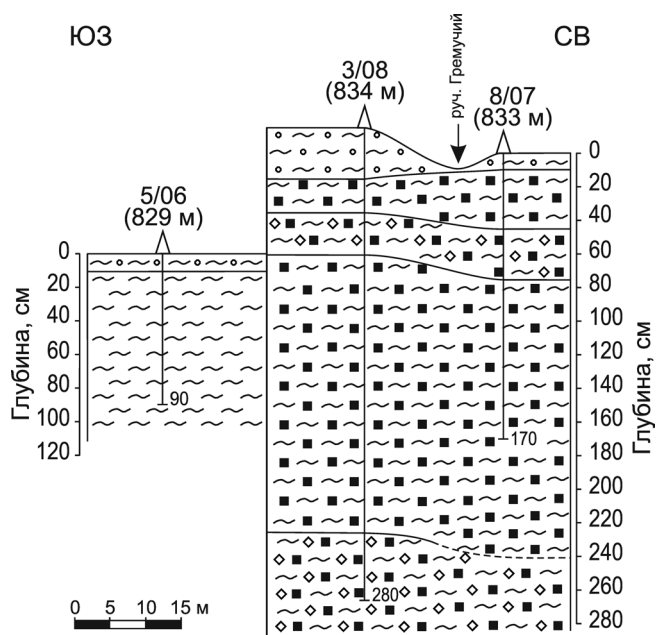


Рис. 9. Литологический разрез по линии И–К.

Fig. 9. Lithological cross section I–K.

рез четко делится на две части. В ЮЗ части вскрыты остывшие (температура на забое шурфа не превышала 20°C) глины монтмориллонитового состава (зона углекислотного выщелачивания мощностью более 90 см) и в основе каолинитовые (охристые) глины зоны сернокислотного 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 чередуются слои относительно пиритизированных глин и “синих глин”, завершается разрез зоной сернокислотного выщелачивания. В целом участок Верхний отличается следующим строением толщи:

- на активной (прогретой) площадке интенсивно пиритизированные глины имеют значительную мощность ( $\geq 170$  см) и весь разрез характеризуется содержанием большого количества пирита и подчиненным количеством некоторых других сульфидов в основной массе глин;

- за пределами термального поля толща представлена глинами монтмориллонитового состава, в основной массе которых пирит находится в форме тонкой рассеянной вкрапленности; зона сернокислотного выщелачивания имеет мощность до 10 см.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детально изучено литологическое строение толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии с помощью проходки горных выработок (шурфов и скважин колонкового

бурения). 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. Толща гидротермальных глин в целом имеет слоистую структуру: горизонты разного состава выдержанны по простиранию г/а (восток – запад). Вкост простирания аномалии и на отдельных термопроявлениях (БСВ, участках Центральный и Западный) отмечаются высокоамплитудные (до 110–130 см) вертикальные смещения горизонтов. Такие смещения (сбросы?), вероятно, происходят вследствие активной подземной циркуляции водных потоков и парогазовой смеси вокруг термальных озер, хребтиков и бугров с образованием крупных полостей в аргиллизированных породах и просядок, а также за счет проявления оползневых процессов на крутых склонах V-образной долины руч. Гремучий.

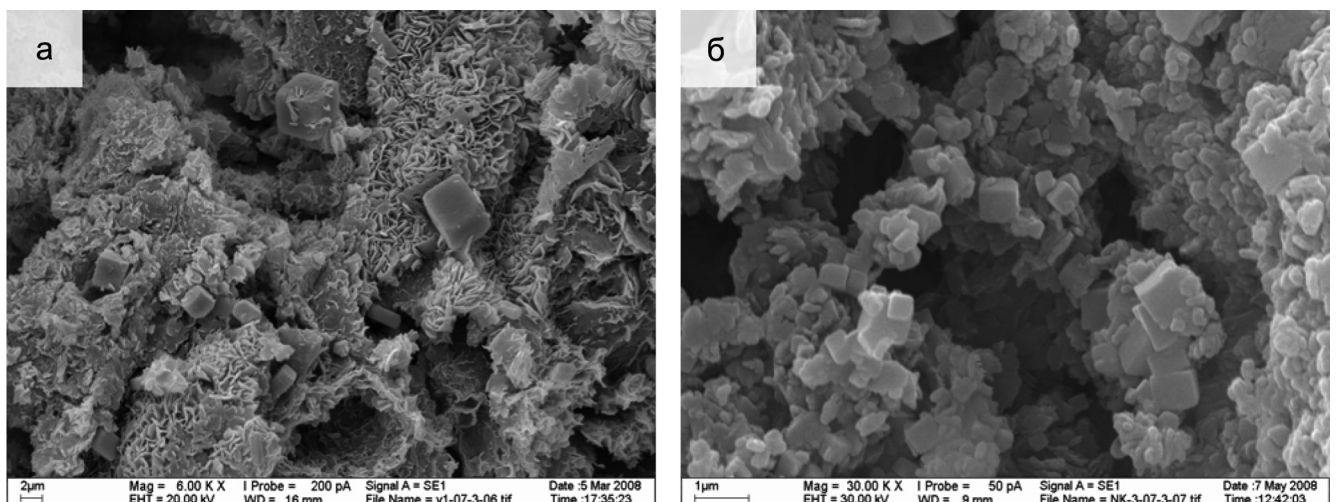
Получены достаточно четкие минералого-геохимические критерии выделения трех горизонтов толщи гидротермальных глин (рис. 10). Глины зоны сернокислотного выщелачивания отличаются высокими концентрациями **Ti**, **Al**, **Fe** и низкими – основных щелочных элементов и кремния. В определенной степени этот характер распределения химических компонентов коррелирует с минеральным составом: низким содержанием минералов кремнезема и сульфидов, высоким – сульфатов ряда металлов. На всех участках г/а выделяется горизонт интенсивно пиритизированных глин – “синих”. Его мощность достигает 1.3–1.5 м (средняя 0.8–1.0 м). “Синие глины” обладают средними значениями большинства компонентов химического и минерального составов, отраженных на диаграмме. Пирит образует своеобразный цепочечный каркас в микроструктуре этих отложений (рис. 11). Горизонт представляет особый интерес при изучении условий транспорта рудных элементов в зоне гипергенеза современной гидротермальной системы (Пампура, 1985; Рычагов и др., 2009; Структура гидротермальной системы, 1993; Таусон и др., 2015).

В целом вся толща гидротермальных глин Нижне-Кошелевской г/а характеризуется высоким содержанием пирита и других сульфидов (установлены марказит, киноварь, сфалерит), “зараженных” **Au**, **Ag**, **Zn**, **As**, **Hg** и т. п. Это, вероятно, является следствием влияния на зону гипергенеза глубинных насыщенных восстановленными газами металлоносных растворов. Основание толщи представляет собой элювий или брекчию лав андезитов и выделяется высокими значениями кремнекислоты, щелочей и редких земель. Минералы кремнезема высаживаются в интенсивно трещиноватых и брекчированных андезитах из гидротерм, богатых растворенной и коллоидной кремнекислотой, основными и редкими щелочами, редкоземельными элементами (Рычагов и др., 2012б). Известно также, что минералы группы монтмориллонита (сметкти-

Литогенетический тип гидротермальных глин	Химический состав, мас. %					Минеральный состав									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ Fe	Σ щелочей	Каолинит		Смектиты		α-кварц, опал и др.		Пирит и др. сульфиды		Сульфаты Ca, Fe и др.	
	48, 52, 56	0,5, 0,9, 1,3	15, 20, 25	6,3, 6,5, 6,7, 6,9	1, 2, 3, 4, 5	min, max	min, max	min, max	min, max	min, max	min, max	min, max	min, max	min, max	
Глины зоны сернокислотного выщелачивания	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with green diagonal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	
“Синие глины”	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with green diagonal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	
Глины основания толщи	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with blue diagonal lines]	[Bar chart with red diagonal lines]	[Bar chart with green diagonal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	[Bar chart with green horizontal lines]	[Bar chart with blue horizontal lines]	

**Рис. 10.** Диагностические признаки трех горизонтов толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии. Химический состав определен в ИВиС ДВО РАН на рентгенофлуоресцентном спектрометре S4 PIONEER. Данные по минеральному составу сводные: рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализы (Геологический факультет МГУ); ИК-спектроскопия, микрозондовый и минералогический анализ (ИВиС ДВО РАН).

**Fig. 10.** Diagnostic attributes of three horizons of Nizhne-Koshelevskaya geothermal anomaly hydrothermal clays. The chemical compound is determined in IVaS FED RAS on spectrometer S4 PIONEER. The data on mineral compound are summary: X-ray and electronic-microscopic analyses (Geological faculty of the Moscow State University); Infra-Red spectroscopy, microzond and mineralogical analysis (IVaS FED RAS).



**Рис. 11.** РЭМ-изображения относительно пиритизированных глин монтмориллонитового состава (а) и “синих глин” (б): кристаллы пирита (марказита) размером до 1 мкм слагают агрегаты в виде цепочек, лент и т.п. форм. Данные получены В.Н. Соколовым и М.С. Черновым, геологический факультет МГУ.

**Fig. 11.** REM-images of relatively pyritization montmorillonites clays (a) and “blue clays” (b): pyrite (marcasite) crystals in the size up to 1 micron compose units as chains, tapes, etc. forms. The data are received by V.N. Sokolov and M.S. Chernov (Geological faculty of the Moscow State University).

ты) и смешанослойные обладают более высокими сорбционной емкостью и способностью к ионному обмену по сравнению с таковыми каолинитов, что определяется особенностями их структуры (Годовиков, 1975; Дриц, Коссовская, 1990; Котельников, Конохов, 1986; Осипов, Соколов, 2013). С этим в значительной степени связано обогащение гидротермальных глин основания толщи щелочными и редкими металлами.

Таким образом, гидротермальные глины в районе Нижне-Кошелевской г/а сформированы за счет практически полного гидротермально-метасоматического перерождения лав андезитов под действием восходящего потока перегретых газозонных флюидов. Кипение этих металлоносных щелочных восстановленных флюидов (характерных для глубоких горизонтов Кошелевской гидротермально-магматической системы (Калаче-

ва и др., 2016; Рычагов, 2014)), образование конденсата пара, его подъем к дневной поверхности и смешение с водами зоны гипергенеза привели к формированию слабокислых сульфатных (гидрокарбонатно-сульфатных) растворов. Эти растворы, как циркулирующие по трещинам, так и находящиеся в закрытом поровом пространстве, определяют процесс трансформации скальных горных пород в аргиллизиты. Горизонт интенсивно сульфидизированных глин и окремненных металлоносных отложений в подошве толщи гидротермальных глин образуется вследствие внедрения в проницаемое пространство и резкого пересыщения близнейтральных или щелочных термальных вод по отношению к сульфидам и минералам кремнезема, вероятно, аналогично процессу, описанному для Восточно-Паужетского термального поля (Рычагов и др., 2015). Мы полагаем, что именно по такому природному сценарию в верхней части зоны гипергенеза Нижне-Кошелевской г/а возникли толщи гидротермальных глин, играющих роль дополнительного водоупора, теплового изолятора и комплексного геохимического барьера в структуре Кошелевской гидротермальной системы.

Сравнение гидротермальных глин Нижне-Кошелевской г/а и Паужетской гидротермальной системы (Рычагов и др., 2008, 2009) подтверждает сделанный ранее вывод (Рычагов, 2003) о том, что на прогрессивном этапе развития (к нему относится Кошелевская система) происходит привнос широкого ряда металлов глубинными насыщенными газом растворами, на регрессивном ("паужетском") этапе – перераспределение металлов в зоне гипергенеза и формирование рудовмещающих тел (Рычагов и др., 2010; Таусон и др., 2015; Rychagov et al., 2015). Продолжение изучения толщи гидротермальных глин современных и палеогидротермальных систем позволит получить дополнительные критерии определения механизмов транспорта рудных соединений в вулканических регионах.

Авторы глубоко признательны всем коллегам по экспедиционным работам за многолетнюю практическую помощь, а также сотрудникам лабораторий ИВиС ДВО РАН, геологического факультета МГУ, Института геохимии СО РАН, ФГУП ЦНИГРИ 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

- Абкадыров И.Ф., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Букачев Ю.Ю. (2010) Опыт применения метода микро-сейсмического зондирования на геотермальных полях на примере Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная Камчатка). *Материалы IX региональной молодежной научной конференции "Природная среда Камчатки"*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 49-60.
- Аверьев В.В. (1966) Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью. *Современный вулканизм*. М.: Наука, 118-128.
- Апрелков С.Е. (1971) Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки. *Геотектоника*, (2), 105-111.
- Аубакирова Р.Б., Муканов К.М. (1974) Зона окисления Джезказганского месторождения. *Кора выветривания*. Вып. 14. М.: Наука, 126-138.
- Белоусов В.И. (1978) Геология геотермальных полей. М.: Наука, 176 с.
- Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В. (1976) Гидротермы Кошелевского вулканического массива. *Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 58-84.
- Волостных Г.Т. (1972) Аргиллизация и оруденение. М.: Недра, 240 с.
- Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы (1987) (Под ред. К.Ф. Сергеева, М.Л. Красного). Л.: ВСЕГЕИ, 36 л.
- Годовиков А.А. (1975) Минералогия. М.: Недра, 520 с.
- Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки (1980) М.: Наука, 172 с.
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. (1990) Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 214 с.
- Дурягина А.М. (2015) Минералого-геохимические особенности платиноносных элювиальных образований Светлоборского и Нижнетагильского массивов, Средний Урал. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: НМСУ "Горный", 25 с.
- Ерошев-Шак В.А. (1992) Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. М.: Наука, 131 с.
- Калачева Е.Г., Рычагов С.Н., Королева Г.П., Нуждаев А.А. (2016) Геохимия парогидротерм Кошелевского вулканического массива (Южная Камчатка). *Вулканология и сейсмология*, (3), 41-56.
- Кора выветривания и гипергенное рудообразование (1977) М.: Наука, 288 с.
- Коржинский Д.С. (1951) Общие свойства инфильтрационной метасоматической зональности. *Докл. АН СССР*, **78**(1), 95-98.
- Коржинский Д.С. (1982) Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 104 с.
- Коровов А.Д. (1992) Особенности развития регрессивной смектитизации в пропилитах современных островодужных систем (о. Итуруп, Курилы). *Вулканизм в структурах Земли и различных геодинамических обстановках*. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 70-71.
- Коровов А.Д. (1994) Гидротермальный литогенез в областях наземного вулканизма. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ГИН, 50 с.
- Котельников Д.Д., Конюхов А.И. (1986) Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 247 с.
- Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Белоглазов И.Н., Воло-

- дин В.И. (2006) Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения. СПб.: Недра, 188 с.
- Лебедев М.М., Декусар З.Б. (1980) Проявление углеводородов в термальных водах Южной Камчатки. *Вулканология и сейсмология*, (5), 93-97.
- Набоко С.И. (1980) Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 198 с.
- Нуждаев И.А., Феофилактов С.О., Нуждаев А.А. (2009) Объемная 3D-визуализация топографического плана в районе Нижне-Кошелевской термоаномалии. *Материалы VII региональной молодежной конференции "Исследования в области наук о Земле"*. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 57-66.
- Омельяненко Б.И., Андреева О.В., Воловикова И.М. (1989) Тонкочешуйчатые диоктаэдрические калиевые слюды как индикаторы гидротермального генезиса метасоматитов. *Литогеология и рудообразование (критерии разграничения экзогенных и эндогенных процессов)*. М.: Наука, 225-236.
- Осипов В.И., Соколов В.Н. (2013) Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 576 с.
- Пампура В.Д. (1985) Геохимия гидротермальных систем областей современного вулканизма. Новосибирск: Наука, 153 с.
- Пампура В.Д., Сандмирова Г.П. (1991) Геохимия и изотопный состав стронция в гидротермальных системах. Новосибирск: Наука, 152 с.
- Писарева М.В. (1987) Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения. *Вулканология и сейсмология*, (2), 52-63.
- Поздеев А.И., Нажалова И.Н. (2008) Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка. *Вулканология и сейсмология*, (3), 32-45.
- Поляк Б.Г., Толстихин И.Н., Якуцени В.П. (1979) Изотопный состав гелия и тепловой поток – геохимический и геофизический аспекты тектогенеза. *Геотектоника*, (5), 3-23.
- Прогнозная оценка рудоносности вулканогенных формаций (1977) М.: Недра, 296 с.
- Разумова В.Н. (1963) "Бейделитовая" верхнеолигоценая кора выветривания на древнем элювии серпентинитов Кемпирсайского гипербазитового массива (Южный Урал). *Геологические типы кор выветривания и примеры их распространения на Южном Урале*. М.: Изд-во АН СССР, 62-80.
- Разумова В.Н. (1977) Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. М.: Наука, 156 с.
- Русинов В.Л. (1989) Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 213 с.
- Рычагов С.Н. (2003) Эволюция гидротермально-магматических систем островных дуг. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 50 с.
- Рычагов С.Н. (2014) Гигантские газогидротермальные системы и их роль в формировании пародоминирующих геотермальных месторождений и рудной минерализации. *Вулканология и сейсмология*, (2), 3-28.
- Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П., Жатнуев Н.С., Коробов А.Д. (1994) Температурный режим вторичного минералообразования и структура температурного поля в недрах гидротермальной системы вулкана Баранского (о-в Итуруп). *Вулканология и сейсмология*, (6), 96-112.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В. (2009) Гидротермальные глины и пирит геотермальных полей: значение в геохимии современных эндогенных процессов (Южная Камчатка). *Вулканология и сейсмология*, (2), 39-56.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П. (2008) Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского геотермальных месторождений. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 2(12), 116-134.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Сергеева А.В., Соколов В.Н., Чернов М.С., Щегольков Ю.В. (2012б) Миграция катионов в гидротермальных глинах: к вопросу о критериях металлоносности газо-гидротермальных флюидов геотермальных месторождений Южной Камчатки. *Вулканология и сейсмология*, (4), 23-36.
- Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С., Филофова Т.М. (2015) Глобули различного состава в толще гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка). *Материалы XVIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 270-276.
- Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. (2010) Гидротермальные глины как высокодинамичная коллоидно-дисперсная минерало-геохимическая система. *Докл. АН*, 435(6), 806-809.
- Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. (2012а) Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований. *Геохимия*, (4), 378-392.
- Рычагов С.Н., Щегольков Ю.В. (2011) Минеральные новообразования на поверхности зерен пирита Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии (Южная Камчатка). *Руды и металлы*, (2), 52-57.
- Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 г. (2001) Владивосток: Дальнаука, 112 с.
- Структура гидротермальной системы (1993) М.: Наука, 298 с.
- Сугробов В.М. (1979) Геотермальные ресурсы Камчатки, классификация и прогнозная оценка. *Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях*. М.: Наука, 26-35.
- Таусон В.Л., Рычагов С.Н., Акимов В.В., Липко С.В., Смагунов Н.В., Герасимов И.Н., Давлетбаев Р.Г., Логинов Б.А. (2015) Роль поверхностных явлений в концентрировании некогерентных элементов: золото в пиритах гидротермальных глин термальных полей Южной Камчатки. *Геохимия*, (11), 1000-1014.
- Штейнберг Д.С., Чашухин И.С. (1978) О режиме флюидов при ранней серпентинизации дунитов. *Докл. АН СССР*, 238(2), 437-440.
- Abkadyrov I.F., Rychagov S.N., Bukatov Yu.Yu., Feofilaktov S.O., Nuzhdayev I.A. (2015) The Structure of the Kamchatka's Largest Nizhne (Lower)-Koshelevsky Vapor-Dominated Geothermal Deposit: new geology and geophysics data. *Proc. World Geothermal Congress*. Melbourne. 8 p.

- Hemley J.J., Jones W.R. (1964) Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis of hydrogen metasomatism. *Econ. Geol.*, **59**(4), 238-369.
- Reyes A.G. (1990) Petrology of Philippines geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *J. Volcanol. Geothermal Research*, (**43**), 279-309.
- Rychagov S.N., Sokolov V.N., Chernov M.S., Davletbaev R.G., Kravchenko O.V. (2015) Hydrothermal Clays of Kamchatka Geothermal Fields: Composition, Structure and a Role for Understanding the Evolution of Hydrothermal Systems. *Proc. World Geothermal Congress*. Melbourne. 9 p.

## Structure and lithogenesis of hydrothermal clays from Nizhne-Koshelevo geothermal anomaly (Southern Kamchatka)

O. V. Kravchenko, S. N. Rychagov

*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS*

On the basis of well drilling and prospect-hole digging and detailed level-by-level approbation the lithological structure of hydrothermal clays of Nizhne-Koshelevo geothermal anomaly, one of the largest on Kamchatka, is investigated. The hydrothermal clays forms a uniform geological body, which have layered structure, thickness from 1.5 up to 3.0 m and extent  $\geq 500$  m. On active thermal ground (unloadings of hydrotherms) the vertical displacement of clays layers take place, apparently, owing to formation of large cavities inside clays – as a result of intensive gas and solution circulation. Also the landslips processes in deep V-shaped valley of Gremuchii stream are wide display. The mineralogical-geochemical criteria of allocation of three horizons of hydrothermal clays are received: 1) zones of sulphuric leaching – in the field of superficial unloading of thermal waters; 2) intensively sulfidization “blue clays” – in the middle part of sections; 3) siliceous and metalliferous deposits – in the basis of clays horizons. Other clays layers are diagnosed less precisely. The hydrothermal clays of Nizhne-Koshelevo geothermal anomaly differ, as a whole, the high contents of pyrite and other sulfides, which concentrate noble, rare, and other metals. The model of transformation of rocks to hydrothermal clays, as reflection of influence of deep metalliferous fluids on hypergenesis zone of modern hydrothermal systems is offered.

Key words: *hydrothermal system, geothermal anomaly, steam water, argillization rocks, hydrothermal clays, geochemical barriers, metal potential fluid.*

### REFERENCES

- Abkadyrov I.F., Gorbaticov A.V., Stepanova M.Yu., Bukatov Yu.Yu. (2010) Experience of application of the method microseismic sounding on geothermal fields on example Nizhne-Koshelevsky thermoanomaly (Southern Kamchatka). *Materialy IX regional'noi molodezhnoi nauchnoi konferentsii "Prirodnaya sreda Kamchatki"* Petropavlovsk-Kamchatskiy, IVS FEB RAS, 49-60. (In Russian)
- Aver'ev V.V. (1966) Hydrothermal process in volcanic areas and his connection with magmatic activity. *Sovremennyi vulkanizm*. Moscow, Nauka Publ., 118-128. (In Russian)
- Aprelkov S.E. (1971) Tectonics and history of a volcanism of the Southern Kamchatka. *Geotektonika*, (2), 105-111. (In Russian)
- Aubakirova R.B., Mukanov K.M. (1974) Zone of oxidation of the Dzhezkazgan field. *Kora vyvetrivaniya. V. 14*. Moscow, Nauka Publ., 126-138. (In Russian)
- Belousov V.I. (1978) *Geologiya geotermal'nykh polei* [Geology of geothermal fields]. Moscow, Nauka Publ., 176 p. (In Russian)
- Vakin E.A., Dekusar Z.B., Serezhnikov A.I., Spichenkova M.V. (1976) Hydroterms of the Koshelevsky volcanic massif. *Gidrotermal'nye sistemy i termal'nye polya Kamchatki*. Vladivostok, Fare East SC Akad Nauk SSSR Publ., 58-84. (In Russian)
- Volostnykh G.T. (1972) *Argillizaciya i orudnenie* [Argillization and mineralization]. Moscow, Nedra Publ., 240 p. (In Russian)
- Geologo-geofizicheskii atlas Kurilo-Kamchatskoi ostrovnoi sistemy*. (1987) (Red. K.F. Sergeev, M.L. Krasnyi) [Geologic-geophysical atlas of Kurily-Kamchatka island system]. Leningrad, VSEGEI Publ., 36 p. (In Russian)
- Godovikov A.A. (1975) *Mineralogiya* [Mineralogy]. Moscow, Nedra Publ., 520 p. (In Russian)
- Dolgozhivushchii tsentr endogennoi aktivnosti Juzhnoi Kamchatki* [Long-living center of endogenous activity of Southern Kamchatka]. (1980) Moscow, Nauka Publ., 172 p. (In Russian)
- Drits V.A., Kossovskaya A.G. (1990) *Glinistye mineraly: smektity, smeshanosloinye obrazovaniya* [Clay minerals: smectites, mixed-layer formations]. Moscow, Nauka Publ., 214 p. (In Russian)
- Duryagina A.M. (2015) *Mineralogo-geokhimicheskie oso-*

- bennosti platinonosnykh elyuvial'nykh obrazovaniy Svetloborskogo i Nizhnetagil'skogo massivov, Srednii Ural*. Avtoref. dis. ... cand. geol.-min. nauk [Mineralogy-geochemical features of platinum-bearing eluvial formations from Svetloborsk and Nizhny Tagil massifs, the Middle Urals. Cand. geol. and mineral. sci. diss.]. St.Petersburg, NMSU "Gornyi", 25 p. (In Russian)
- Eroshchev-Shak V.A. (1992) *Gidrotermal'nyi subpoverkhnostnyi litogenez Kurilo-Kamchatskogo regiona* [Hydrothermal subsurface lithogenesis of the Kuril-Kamchatka region]. Moscow, Nauka Publ., 131 p. (In Russian)
- Kalacheva E.G., Rychagov S.N., Koroleva G.P., Nuzhdaev A.A. (2016) Geochemistry of the Koshelevsky volcanic massif steam-water (Southern Kamchatka). *Vulkanologiya i seismologiya*, (3), 41-56. (In Russian)
- Kora vyvetrivaniya i gipergennoe rudoobrazovanie* [Crust of weathering and hypergene ore formation]. (1977) Moscow, Nauka Publ., 228 p. (In Russian)
- Korzhinskii D.S. (1951) General properties of infiltration metasomatic zonality. *Dokl. Aad. Nauk SSSR*, **78**(1), 95-98. (In Russian)
- Korzhinskii D.S. (1982) *Teoriya metasomaticheskoi zonal'nosti* [Theory of metasomatic zonality]. Moscow, Nauka Publ., 104 p. (In Russian)
- Korobov A.D. (1992) Features of development of a regressive smektitization in the propylites modern the systems of island arcs (island of Iturup, Kurily). *Vulkanizm v strukturakh Zemli i razlichnykh geodinamicheskikh obstanovkakh*. Irkutsk, IZK SO RAN Publ., 70-71. (In Russian)
- Korobov A.D. (1994) *Gidrotermal'nyi litogenez v oblastiakh nazemnogo vulkanizma*. Dis. dokt. geol.-min. nauk [Hydrothermal lithogenesis in areas of a land volcanism. Dokt. geol. and min. nauk diss.]. Moscow, GIN RAN, 50 p. (In Russian)
- Kotel'nikov D.D., Konyukhov A.I. (1986) *Glinistye mineraly osadochnykh porod* [Clay minerals of sedimentary rocks]. Moscow, Nedra Publ., 247 p. (In Russian)
- Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Beloglazov I.N., Volodin V.I. (2006) *Platinovye metally v gipergennykh nikelevykh mestorozhdeniyakh i perspektivy ikh promyshlennogo izvlecheniya* [Platinum metals in hypergene nickel fields and prospects of their industrial extraction]. St.Petersburg, Nedra Publ., 188 p. (In Russian)
- Lebedev M.M., Dekusar Z.B. (1980) Manifestation of hydrocarbons in thermal waters of the Southern Kamchatka. *Vulkanologiya i seismologiya*, (5), 93-97. (In Russian)
- Naboko S.I. (1980) *Metallonosnost' sovremennykh gidroterm v oblastiakh tektono-magmaticheskoi aktivnosti* [Metal potential of modern hydrotherm water in areas of tektono-magmatic activity]. Moscow, Nauka Publ., 198 p. (In Russian)
- Nuzhdaev I.A., Feofilaktov S.O., Nuzhdaev A.A. (2009) Volumetric 3D-visualization of the topographical plan in area Nizhne-Koshelevskaya temperature anomaly. *Materialy VII regional'noi molodezhnoi konferentsii "Issledovaniya v oblasti nauk o Zemle"* [Proc. 7<sup>th</sup> Regional Conference "The researches in Earth's sciences"]. Petropavlovsk-Kamchatskii, Kamchatka St. Univ. Publ., 57-66. (In Russian)
- Omelyanenko B.I., Andreeva O.V., Volovikova I.M. (1989) Thin-scaly dioctahedral potassium micas as indicators of hydrothermal genesis of metasomatites. *Litogenez i rudoobrazovanie (kriterii razgranicheniya ekzogennykh i endogennykh protsessov*. Moscow, Nauka Publ., 225-236. (In Russian)
- Osipov V.I., Sokolov V.N. (2013) *Gliny i ikh svoystva. Sostav, stroenie i formirovanie svoystv* [Clays and their properties. Composition, structure and formation of properties]. Moscow, GEOS Publ., 576 p. (In Russian)
- Pampura V.D. (1985) *Geokhimiya gidrotermal'nykh sistem oblastei sovremennogo vulkanizma* [Geochemistry of hydrothermal systems of modern volcanism areas]. Novosibirsk, Nauka Publ., 153 p. (In Russian)
- Pampura V.D., Sandimirova G.P. (1991) *Geokhimiya i izotopnyi sostav strontsiya v gidrotermal'nykh sistemakh* [Geochemistry and isotope composition of strontium in hydrothermal systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 152 p. (In Russian)
- Pisareva M.V. (1987) Zone of natural steam of the Nizhne-koshelevskoe geothermal field. *Vulkanologiya i seismologiya*, (2), 52-63. (In Russian)
- Pozdeev A.I., Nazhalova I.N. (2008) The geology, hydrodynamics and the oil-and-gas potential of the Koshelevskoe steam-water field, Kamchatka. *Vulkanologiya i seismologiya*, (3), 32-45. (In Russian)
- Polyak B.G., Tolstikhin I.N., Jakutseni V.P. (1979) Isotope composition of helium and thermal stream – geochemical and geophysical aspects of a tectogenesis. *Geotektonika*, (5), 3-23. (In Russian)
- Prognoznaya otsenka rudonosnosti vulkanogennykh formatsii* (1977) [Projection of a ore potential of volcanogenic formations]. Moscow, Nedra Publ., 296 p. (In Russian)
- Razumova V.N. (1963) "Beydelite" Upper-Oligocene crust of weathering on ancient eluvium of serpentinites of the Kempirsay ultrabasite massif (South Ural). *Geologicheskie tipy kor vyvetrivaniya i primery ikh rasprostraneniya na Juzhnom Urale*. Moscow, Akad. Nauk SSSR Publ., 62-80. (In Russian)
- Razumova V.N. (1977) *Drevnie kory vyvetrivaniya i gidrotermal'nyi protsess* [Ancient crusts of weathering and hydrothermal process]. Moscow, Nauka Publ., 156 p. (In Russian)
- Rusinov V.L. (1989) *Metasomaticheskie protsessy v vulkanicheskikh tolshchakh* [Metasomatic processes in volcanic thicknesses]. Moscow, Nauka Publ., 213 p. (In Russian)
- Rychagov S.N. (2003) *Evolyutsiya gidrotermal'no-magmaticheskikh sistem ostrovnykh dug*. Dis. dokt. geol.-min. nauk [Evolution of hydrothermal-magmatic systems of island arc. Dr. geol. and min. sci. diss.]. Moscow, IGEM RAN, 50 p. (In Russian)
- Rychagov S.N. (2014) Giant gas-rich hydrothermal systems and their role in the generation of vapor-dominated geothermal fields and an ore mineralization. *Vulkanologiya i seismologiya*, (2), 3-28. (In Russian)
- Rychagov S.N., Glavatskikh S.F., Goncharenko O.P., Zhatnuev N.S., Korobov A.D. (1994) Temperature condition of secondary mineralogenesis and structure of the temperature field in interior part of hydrothermal system of a volcano Baransky (island of Iturup). *Vulkanologiya i seismologiya*, (6), 96-112. (In Russian)
- Rychagov S.N., Davletbaev R.G., Kovina O.V. (2009) Hydrothermal clays and pyrites in geothermal fields: their significance for the geochemistry of present-day endogenous processes (Southern Kamchatka). *Vulkanologiya i seismologiya*, (2), 39-56. (In Russian)

- Rychagov S.N., Davletbaev R.G., Kovina O.V., Koroleva G.P. (2008) Characteristic of hydrothermal clays sub-surface horizon of Nizhne-Koshelevskoe and Pauzhetskoe geothermal deposits. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2(12), 116-134. (In Russian)
- Rychagov S.N., Davletbaev R.G., Kovina O.V., Sergeeva A.S., Sokolov V.N., Chernov M.S., Shchegol'kov Ju.V. (2012b) Migration of cations in hydrothermal clays: to a question of criteria of a metal content of gas-hydrothermal fluids of geothermal fields of the Southern Kamchatka. *Vulkanologiya i seismologiya*, (4), 23-36. (In Russian)
- Rychagov S.N., Sergeeva A.V., Chernov M.S., Filosofova T.M. (2015) Globules of various structure in the thickness of hydrothermal clays of Vostochno-Pauzhetsky thermal field (the Southern Kamchatka). *Materials XVIII ezhegodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchenoi Dnyu vulkanologa* [Proc. XVIII annual conf. devoted to Volcanologist Day]. Petropavlovsk-Kamchatskii, IVS FEB RAS, 270-276. (In Russian)
- Rychagov S.N., Sokolov V.N., Chernov M.S. (2010) Hydrothermal clays as a highly dynamical colloid-disperse mineralogical-geochemical system. *Dokl. Akad. Nauk*, 435(6), 806-809. (In Russian)
- Rychagov S.N., Sokolov V.N., Chernov M.S. (2012a) Hydrothermal clays of geothermal fields of the Southern Kamchatka: new approach and results of researches. *Geokhimiya*, (4), 378-392. (In Russian)
- Rychagov S.N., Shchegol'kov Ju.V. (2011) Mineral growths on the surface of the pyrite grains in geothermal anomaly of Nizhne-Koshelevskoe (the Southern Kamchatka). *Rudy i matally*, (2), 52-57 (In Russian)
- Strategiya razvitiya toplivno-energeticheskogo potentsiala Dal'nevostochnogo ekonomicheskogo raiona do 2020 goda* (2001) [Strategy of development of fuel and energy capacity of the Far East economic region till 2020]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 112 p. (In Russian)
- Struktura gidrotermal'noi sistemy* (1993) [Structure of hydrothermal system]. Moscow, Nauka Publ., 298 p. (In Russian)
- Sugrobov V.M. (1979) Geothermal resources of Kamchatka, classification and projection. *Izuchenie i ispol'zovanie geotermal'nykh resursov v vulkanicheskikh oblastyakh*. Moscow, Nauka Publ., 26-35. (In Russian)
- Tauson V.L., Rychagov S.N., Akimov V.V., Lipko S.V., Smagunov N.V., Gerasimov I.N., Davletbaev R.G., Loginov B.A. (2015) Role of surface phenomena in concentrating incompatible elements: Au in pyrite from hydrothermal clays in thermal fields of the Southern Kamchatka. *Geokhimiya*, (11), 1000-1014. (In Russian)
- Shteinberg D.S., Chashchykhin I.S. (1978) About the mode of fluids at an early serpentinization of dunit. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 238(2), 437-440. (In Russian)
- Abkadyrov I.F., Rychagov S.N., Bukatov Yu.Yu., Feofilaktov S.O., Nuzhdaev I.A. (2015) The Structure of the Kamchatka's Largest Nizhne (Lower)-Koshelevsky Vapour-Dominated Geothermal Deposit: new geology and geophysics data. *Proc. World Geothermal Congress*. Melbourne. 8 p.
- Hemley J.J., Jones W.R. (1964) Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis of hydrogen metasomatism. *Econ. Geol.*, 59(4), 238-369.
- Reyes A.G. (1990) Petrology of Philippines geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *J. Volcanol. Geothermal Research*, (43), 279-309.
- Rychagov S.N., Sokolov V.N., Chernov M.S., Davletbaev R.G., Kravchenko O.V. (2015) Hydrothermal Clays of Kamchatka Geothermal Fields: Composition, Structure and a Role for Understanding the Evolution of Hydrothermal Systems. *Proc. World Geothermal Congress*. Melbourne. 9 p.