

Определение строения кровли коренного основания под толщей многолетнемёрзлых пород на участке между г. Америка-Хая и Орто-Хая в дельте р. Лена методом электротомографии

А.Н. Фаге¹, И.Н. Ельцов²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), faguetan@ipgg.sbras.ru

²ИНГГ СО РАН, yeltsovin@ipgg.sbras.ru

АННОТАЦИЯ

Осадочный чехол на территории дельты р. Лена (Булунский улус, р. Саха (Якутия), в основном, характеризуется большой мощностью и значительной глубиной промерзания, что делает определение глубины залегания его подошвы крайне сложной задачей. Однако, в отдельных районах дельты наблюдаются выходы массивов коренных пород на дневную поверхность, к таким участкам относится о. Курунгнах-Сисе, к которому относятся две горы – Америка-Хая и Орто-Хая. В ходе экспедиции в дельту в 2014-м году перед сотрудниками ИНГГ СО РАН стояла задача исследовать возможность картирования кровли коренных пород под толщей многолетнемёрзлых отложений, слагающих осадочный чехол между двумя вышеупомянутыми горами. Кроме того, в ходе экспедиции 2018-го года было решено повторить часть профиля на склоне г. Орто-Хая. В результате выполнения этих работ были построены геоэлектрические разрезы на глубину 45 и 80 м с использованием электроразведочных схем Шлюмберже и поль-диполь. На полученных геоэлектрических разрезах, под высокоомными участками, приуроченными к многолетнемёрзлым породам, отчётливо выделяются низкоомные зоны, повторяющие угол падения коренного основания, наблюдаемого на дневной поверхности на склонах гор Америка-Хая и Орто-Хая. Выполненная работа наглядно демонстрирует способность электроразведки на постоянном токе к расчленению высокоомных разрезов на отдельные составляющие – картирована кровля скального основания, уходящего под многолетнемёрзлый осадочный чехол.

Ключевые слова: мерзлота, электротомография, метод сопротивлений, дельта р. Лена

ВВЕДЕНИЕ

Метод сопротивлений в его наиболее современном варианте – многоэлектродные электроразведочные линии с фиксированным шагом, подключенные к автоматической электроразведочной станцией, работающей по заранее заданному протоколу измерений, получает всё более широкое распространение и направлен на решение большого круга задач.

Одной из таких задач является исследование строения геологического разреза в зонах распространения многолетнемёрзлых пород.

В геологическом отношении коренное основание представлено верхнедевонскими отложениями франской толщи - около 50 м глинисто-алеврито-карбонатных пород с прослоями тонко-мелкообломочных известняков, содержащих ассоциацию разнообразных брахиопод. Выше залегает лавовая толща мощностью около 150 м (обнажения залива Крест-Хомо, островов Америка-Хая и Орто-Хая), сложенная базальтами, долеритами,

базальтовыми порфиритами местами с шаровым строением. Диаметр шаров с изменённой стекловатой оторочкой закалки около 0,5 м (Сараев и др., 2013).

В 2014-м году сотрудники ИНГГ СО РАН выполняли серию полевых работ в дельте р. Лена, частью этой серии являлись исследования коренных пород, выходящих на дневную поверхность на о. Курунгнах-Сисе и формирующих горы Америка-Хая и Орто-Хая.

Профиль исследования в 2014-м году начинался на вершине г. Америка-Хая, шёл вниз по склону в юго-восточном направлении, пересекал ручей (протоку) Америка-Хая-Тёбюлеге, далее простирался по рыхлым отложениям, заполняющим впадину между горами, а затем выходил на коренные породы, слагающие г. Орто-Хая. Общая длина профиля составила 3100 метров.

В 2018-м году профиль исследования частично повторил профиль 2014-го года, он брал своё начало на г. Орто-Хая и простирался вниз по

склону в северо-западном направлении, проходя через равнину, сформированную рыхлыми породами, в межгорной впадине. Длина этого профиля составила 1300 метров.

Кроме того, по профилю 2018-го года было выполнено геофизическое исследование методом сейсморазведки, задачей которого было картирование скального основания под слоем многолетнемёрзлых рыхлых отложений. Результаты этого исследования и сравнение двух геофизических методов являются предметом отдельной работы.

МЕТОДЫ

Основным методом исследования являлась электротомография. Использовалась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48». Число электродов – 48, шаг между электродами – 5 м. В исследованиях 2014-го года нами применялись электроразведочные схемы Шлюмберже и диполь-диполь. В 2018-м году – Шлюмберже и поль-диполь. В данной работе будут приводиться результаты работы установками схемы Шлюмберже.

Обработка исходных данных измерений выполнялась в программах SiberTools и RiPP. Профиль рельефа восстанавливался при помощи данных барометрического высотомера и их дальнейшей обработке. Инверсия данных электротомографии производилась в программе Res2DInv, для визуализации использовалось ПО Golden Software Surfer.

В 2014-м году длина профиля исследования составила 3120 метров (для используемой конфигурации электроразведочной линии это одна полная расстановка и 24 продолжающих). В 2018-м году длина профиля составила 1320 метров (одна полная расстановка и 9 продолжающих).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные в результате двумерной инверсии геоэлектрические разрезы (см. рисунок 1) отличаются большим разбросом значений УЭС (от 100 Ом·м до 300 кОм·м). Минимальные значения этого диапазона соответствуют талым рыхлым отложениям, характерным для берегов и дна водоёмов – илы, пески. На приведённых разрезах эти породы приурочены к протоке Америка-Хая-Тёбюлеге, которую пересекает профиль исследования в 2014-м году. Максимальные значения соответствуют высокольдистым многолетнемёрзлым породам, заполняющим впадину.

Основной интерес представляет зона контакта рыхлых отложений и скального основания, которая хорошо прослеживается на геоэлектрических разрезах. В обычных условиях, коренные породы являются высокоомными по отношению к рыхлым отложениям. Однако в дельте р. Лена, с её непрерывной (за исключением локальных таликовых зон под водными телами) мерзлотой, УЭС коренных пород в сравнении с рыхлыми отложениями, наоборот, можно считать относительно невысоким. Так, на подобранной в результате инверсии полевых данных геоэлектрической модели среды, УЭС коренных пород находится в диапазоне 1,5-7 кОм·м. При этом значения УЭС в рыхлых, мёрзлых отложениях начинаются со значений 20 кОм·м. Таким образом, геоэлектрический разрез является контрастным, хорошо расчленённым по электрическим свойствам. Ниже приведено его описание.

Левая часть геоэлектрического разреза (интервал по профилю исследования от 0 до 900 м), полученного на основе материалов 2014-го года, представлена породами со значениями УЭС от 1,5-7 кОм·м. Это коренное основание, выходящее на дневную поверхность и слагающее г. Америка-Хая.

Средняя часть разреза, над пунктирной линией (красно-оранжевая цветовая гамма) приурочена к рыхлым, многолетнемёрзлым породам. В интервале 1000-1400 метров толща имеет относительно более низкие значения УЭС, порядка 50 кОм·м. После отметки 1400 метров, значения УЭС в рыхлых отложениях достигают своего максимума (100-300 кОм·м).

Правая часть разреза аналогична левой – интервал 2400-3120 метров относительно низкоомный, представлен коренными породами, слагающими склон г. Орто-Хая.

Средняя часть разреза под пунктирной линией представляет наибольший интерес. Здесь преобладают значения УЭС от 7 до 20 кОм·м. Они немного выше значений, которые характерны для обнажённых коренных пород, и при этом существенно ниже значений, наблюдаемых в многолетнемёрзлой толще.

ОБСУЖДЕНИЕ

Разница значений УЭС в интервале 0-900 м может объясняться разным составом коренных пород - более низкие значения (синяя цветовая гамма), вероятно приурочены к карбонатным породам, более высокие – к магматическим (зеленая цветовая гамма). Это согласуется с геологическим описанием, в котором

магматические породы, прорываясь сквозь слой карбонатных, извергались и откладывались сверху.

Область выше пунктирной линии, находящаяся в интервале 1000-1400 метров, нами интерпретируется как имеющая меньшее содержание льда в породе, соответственно, значения УЭС ниже, чем в интервале 1400-2300 м. Это может объясняться влиянием поймы: во время сильного паводка происходит затопление территории водами р. Лена, что не позволяет ледовым жилам формироваться (либо приводит к их деградации).

Интервал 1400-2300 м, выше пунктирной линии, приурочен, согласно нашей интерпретации, к высокольдистым породам. Это отчасти подтверждается полигональным рисунком на дневной поверхности, характерным для тундры, пронизанной ледовыми жилами.

Области, в которых коренное основание погружается под слой многолетнемёрзлых пород (ниже пунктирной линии), явно прослеживаются на геоэлектрических разрезах, как зоны пониженного, относительно мёрзлых рыхлых осадков, значений УЭС.

Данные, полученные в 2018-м году практически полностью повторяют данные 2014-го года (см. рисунок 1).

Выводы

Полученные в результате работ 2014-го и 2018-го гг. геоэлектрические разрезы, наглядно демонстрируют способность метода электротомографии к работе в зоне распространения многолетнемёрзлых пород.

Даже при таком высокоомном разрезе, удаётся определить строение кровли коренного основания под толщей многолетнемёрзлых пород на участке между г. Америка-Хая и Орто-Хая в дельте р. Лена. Хорошо виден угол падения коренного основания, повторяющий угол склона, наблюдаемый на дневной поверхности. Это справедливо как для склона г. Америка-Хая, так и для склона г. Орто-Хая.

Благодарности

Автор выражает благодарность участникам экспедиции 2014-го года в дельту р. Лена – Аюнову Д.Е., Ельцову И.Н., Каширцеву В.А., Фадееву Д.И., Цибизову Л.В., за непосредственное участие в полевых работах, а также сотрудникам НИС о. Самойловский за обеспечение полевых работ. Кроме того, автор благодарит Гузеву А.В. за помощь в интерпретации геологического материала.

ЛИТЕРАТУРА

Сараев С. В., Язиков А.Ю., Бахарев Н.К., Изох Н.Г., Соболев Е.С., Гонта Т.В. Седиментология и биостратиграфия верхнедевонских отложений арктической части Сибири (дельта Лены) //VII Всероссийское литологическое совещание «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории». – Рос. акад. наук, Науч. совет по проблемам литологии и осадочных полезных ископаемых при ОНЗ; Сиб. отд-ние, Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. Новосибирск, 2013. – Т. 3. – С. 69-72.

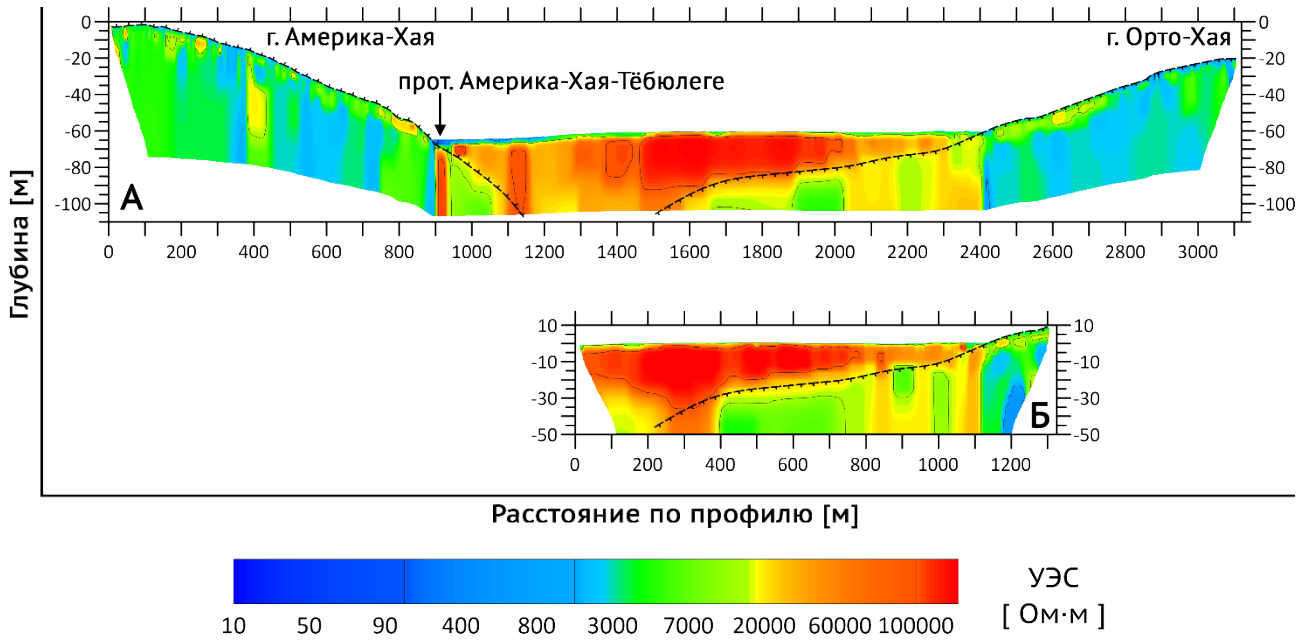


Рисунок 1. Геоэлектрические разрезы, построенные в ходе экспедиций 2014-го года (А) и 2018-го года (Б). Разрезы А и Б выровнены по оси X в соответствии со своим реальным положением друг относительно друга. Отношение вертикального масштаба к горизонтальному 1:5. Пунктирная линия очерчивает рельеф коренного основания (наблюдаемый – на поверхности и предполагаемый – под рыхлыми отложениями).