

Новый взгляд на строение покровного ледника Антарктиды и его взаимодействие с каменным ложем

На сегодня считается установленным, что жидкая вода находится под антарктическим ледником в форме так называемых подледниковых озёр. В радиолокационных разрезах они выделяются по наличию подо льдом участков с выровненными и четкими границами (участок «е» на рис. 1). Наиболее обширным и первым из обнаруженных является озеро в районе российской станции Восток. Тем не менее, накопленные за последние 10 лет радиолокационные материалы свидетельствуют, по мнению авторов, о принципиально иных формах и условиях нахождения воды под антарктическим ледником.

Еще в 1965 г. в статье И.А. Зотикова и др. [3] приводились расчеты, из которых следует, что донное таяние охватывает всю центральную область ледяного щита Антарктиды. А в имеющихся на сегодня радиолокационных материалах (работы ПМГРЭ и др.) можно найти достаточно много указаний на существование под ледником обширной зоны донного таяния, — той самой, о которой писали Зотиков с коллегами еще 40 лет назад.

Практически на всех радиолокационных временных разрезах ледникового покрова Центральной Антарктиды существует верхняя однородная зона (область «с» на рис. 1), резко отличная от вышележащей слоистой толщи. Она возникает на некотором расстоянии от побережья и тянется непрерывно в глубь материка. Специалисты, занимающиеся радиолокационным зондированием, объясняют ее наличие простым затуханием с глубиной радиолокационного сигнала. Однако на еще большей глубине возникает весьма интенсивный сигнал от нижней однородной зоны «е» либо от зоны «d», — так называемого фундамента (самой нижней границы, отраженной, как правило, от каменного ложа).

На радиолокационных разрезах обычно выделяются два типа различающихся по амплитуде сигналов: 1) высокоэнергетические сигналы от верхнего снежно-фирнового слоя ледника (зона «а»), слоистого льда (зона «b») и фундамента (зона «d»); 2) низкоамплитудные (почти нулевые) сигналы на участках зон «с» и «е». При этом сигнал в зоне «с» не является затухающим в отличие от сигнала в зоне «е»: там он действительно затухает, ибо никаких амплитудных всплесков более не наблюдается. Различный характер фиксируемых сигналов можно объяснить

¹ ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ), Ломоносов, Россия

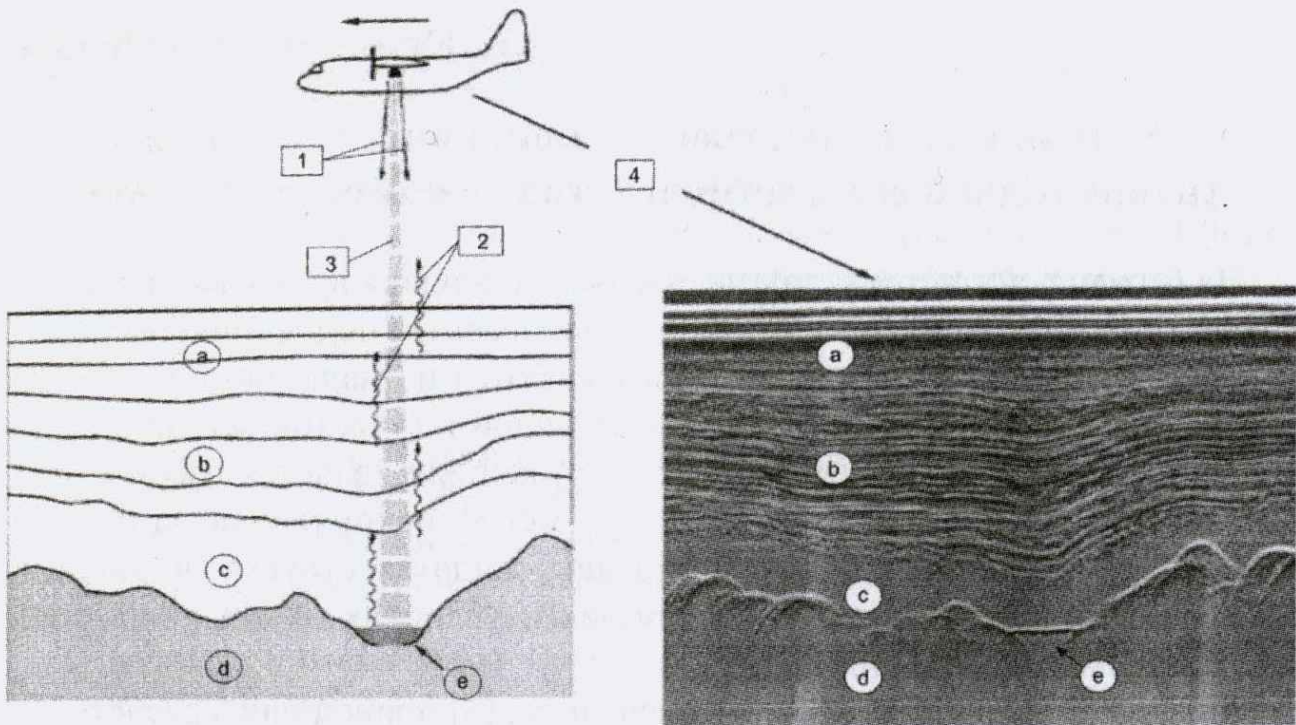


Рис. 1. Принцип проведения радиолокационных зондирований и временной разрез изученной толщи (по данным Martin J. Siegert, 2005 г., с дополнениями). 1 – излучаемые электромагнитные волны (радиолокационный сигнал с частотой 60 МГц); 2 – реакция изучаемой среды в виде отраженных электромагнитных волн, принимаемых антенной; 3 – угол излучения передающей антенны; 4 – полученный временной разрез изученной среды: а – поверхностная часть ледника (фирн); б – ледниковая толща с хорошо выраженной слоистой структурой; в – верхняя однородная зона, отождествляемая по общепринятой модели с массивным ледником; д – фундамент; е – нижняя однородная зона, отождествляемая по общепринятой модели с толщей воды

различным взаимодействием электромагнитных волн с кристаллическими и аморфными веществами. Первые способны отражать электромагнитные колебания в определённых направлениях, а вторые пропускают их практически без отражения. К аморфным веществам относятся, среди прочих, все однородные жидкости.

Если по общепринятой модели зона «е» отображает слой воды, то что тогда располагается выше и отделено от «воды» такой резкой и четкой границей? Наиболее естественной, на взгляд авторов, является следующая интерпретация: зона «с», отвечающая по своим радиолокационным характеристикам аморфному веществу, является обширным слоем талой воды, а зона «е» отображает, вероятно, изолированные участки выровненных и слабо консолидированных осадков.

Известно, что антарктический ледниковый покров содержит в себе некоторое количество минеральной и органической пыли, заносимой ветрами на его поверхность. Опустившись за многие тысячи лет до

нижней кромки ледника, где действуют процессы таяния, частички пыли вытаивают и оседают на дно подледникового водоёма в форме пелитовых осадков. В хорошо выраженных донных депрессиях мощность осадков может быть повышенной за счет бокового сноса и придонных течений. В составе осадков могут присутствовать также и обломки горных пород, захваченных ледником с донных поднятий и «утерянных» на участках таяния. Мощный отражённый радиолокационный сигнал на границе, разделяющей воду и пелитовые осадки (зоны «с» и «е» на рис. 1), объясняется существенной разницей в диэлектрической проницаемости двух сред: воды – 88, горных пород – 10, сырого песка, глины – 5 [1].

С учетом времени и скорости прохождения сигнала через зону «с» (для воды она равна 33 м/мкс) по [1] можно определить, что мощность водного слоя в районе станции Восток составляет 100–165 м. Такой слой воды вполне проницаем для электромагнитного излучения. Ведь вода, образовавшаяся при таянии ледника, является, по сути, дистиллированной водой. Пресная, и тем более дистиллированная вода, на частотах выше 200 кГц является диэлектриком, т.е. хорошим проводником электромагнитных колебаний [2]. При условии, что электромагнитный сигнал излучается непосредственно в изучаемую среду (а это так и есть), и при рабочих частотах радиолокации 60 мГц, удельное ослабление для слоя дистиллированной воды такой мощности равно примерно 0,1 дБ, тогда как ослабление для трёхкилометрового слоя льда составляет уже 120 дБ.

В новой авторской интерпретации границе лед–вода на временных радиолокационных разрезах соответствует граница между зонами «b» и «с». Она, несомненно, является границей двух различных сред, причем однородная зона «с» больше соответствует по своим радиолокационным признакам не льду, а жидкой воде: в ней отсутствует всякая слоистость и существенно снижена амплитуда сигнала.

С привлечением данных по ледовому керну скв. 5Г-1 на станции Восток [4] авторами выделено несколько основных глубинных границ, сопоставимых с радиолокационной картиной рассматриваемой модели. В соответствии с ними мощности сред составляют: фирн – 718 м, слоистый лед – 2891 м, вода (зона «с») – 165 м. Выполнен оценочный расчет пластовых скоростей и на их основе – средней скорости прохождения радиолокационного сигнала сквозь фирновую, ледяную и водную толщи. Она составляет 168,44 м/мкс, что близко к измеренному ранее значению для данного района.

На рис. 2, А представлен временной разрез по маршруту М-01 в районе станции Восток. С использованием вышеприведенных параметров произведён пересчёт временного разреза в глубинный интерпретационный разрез (рис. 2, Б). Этот глубинный разрез существенно отличается

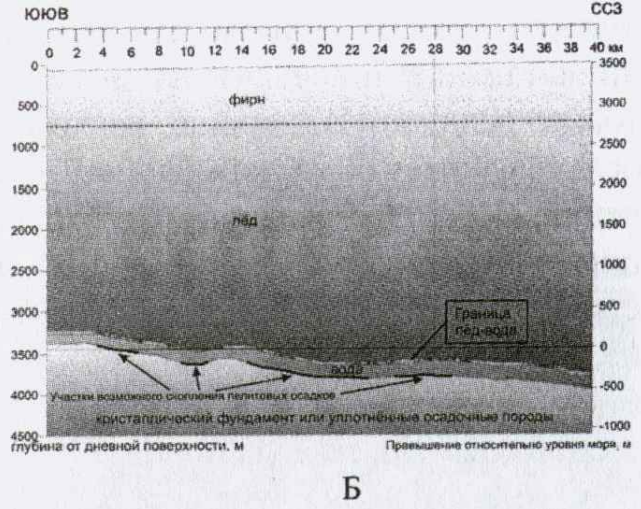
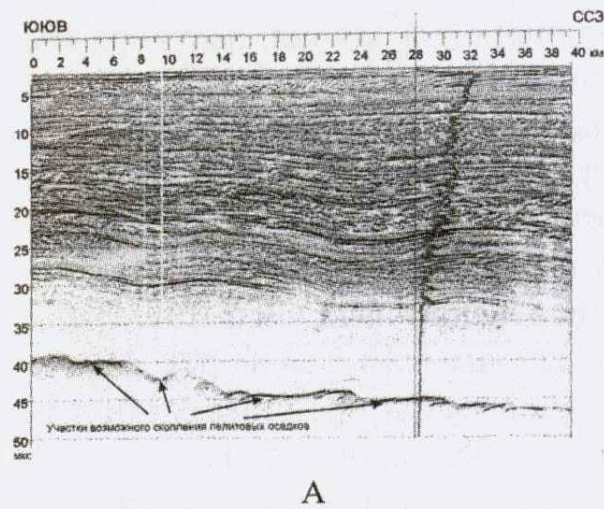


Рис. 2. А: Временной разрез по маршруту М-01, район станции Восток, на котором вертикальной линией показано положение и форма амплитудной кривой (Геологический отчёт 51 РАЭ, с дополнениями); Б: глубинный разрез по указанному маршруту в авторской интерпретации

от выполненных ранее интерпретаций наличием обширного, но сравнительно тонкого слоя воды, подстилающего ледник в районе станции Восток.

Таким образом, согласно новой модели, под покровным ледником в Центральной Антарктиде существует обширный водный бассейн, образовавшийся за счёт таяния нижней части ледника и отображающийся на временных радиолокационных разрезах в виде однородной аморфной области между ледником и фундаментом (кристаллическим или осадочным основанием). Вода в этом бассейне имеет сравнительно небольшую мощность, но благодаря широкому распространению зоны таяния, образует, по-видимому, крупнейший на нашей планете пресноводный резервуар. Выявленные ранее под ледником многочисленные «озера», отображают, вероятно, выровненные участки аккумуляции слабоконсолидированных пелитовых осадков, вытаяваемых из подошвы ледника. Из этого следует, что ледник в центральной части Антарктиды воздействует на каменное ложе иначе, чем представлялось: экзарации подвергаются лишь отдельные возвышенные участки, тогда как в депрессиях отлагаются тонкозернистые осадки с подчиненным объемом фрагментов горных пород, вынесенных с возвышенных участков.

Литература

1. Богородский В.В. и др. Радиогляциология. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
2. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. М.: Сов. радио, 1971.

3. Зотиков И.А., Капица А.П. и др. Тепловой режим ледникового покрова Центральной Антарктиды // Бюл. САЭ. 1965. № 51. С. 27–33.

4. Липенков В.Я., Барков Н.И., Саламатин А.Н. История климата и оледенения Антарктиды по результатам изучения ледяного керна со станции Восток // Проблемы Арктики и Антарктики. 2000. Вып. 72.

Н.Б. Кузнецов¹

Преддевонские комплексы Свальбарда – северо-восточное продолжение Скандинавских каледонид или северо-западное продолжение Протоуралид-Тиманид?

Еще в начале 30-х годов XX в. Кулинг подметил сходство развитых на архипелаге Свальбард додевонских комплексов с таковыми западной Гренландии [18]. Последующими исследованиями Б.Харланда и К.Вилсона на п-ове Новая Фрисландия о-ва Шпицберген и на о-ве Северо-Восточная Земля были разработаны основы отнесения Свальбарда к каледонидам [12, 13]. Во всех последующих исследованиях додевонские образования Свальбарда объединялись в супергруппу Гекла Хук и трактовались как каледонский фундамент. Толщи вендского и PZ_1 возраста обычно включаются в разрез верхней части супергруппы Гекла Хук, в частности, вендские водно-ледниковые образования и залегающие выше неравномерно палеонтологически охарактеризованные PZ_1 терригенно-глинисто-карбо-натные и карбонатные образования. По-видимому, именно совместное включение вендских и PZ_1 толщ в состав верхней части супергруппы Гекла Хук, способствовало тому, что в многочисленных литературных источниках без должного на то обоснования полагалось и полагается до сих пор, что позднедокембрийские и раннепалеозойские стратиграфические последовательности Шпицбергена связаны между собой постепенным переходом. Это является важным аргументом в их коррелировании с одновозрастными комплексами каледонид Западной Гренландии [10, 11, 15 и др.], при этом подчеркивается, что на Свальбарде не проявилась или почти не проявилась тиманская (протоуральско-тиманская по: [19]) орогения [10]. Во всех широко известных публикациях древние комплексы и структуры Свальбарда рассматриваются как СВ продолжение Скандинавских каледонид, и только в малоизвестных работах [1, 24, 26] комплексы отдельных частей струк-

¹ Геологический институт (ГИН) РАН, Москва, Россия