

УДК 537.8

## ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ У ПОБЕРЕЖЬЯ АНТАРКТИДЫ МЕТОДОМ ГЕОПОЛЯРИТОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ю.А. Богданов<sup>1</sup>, И.Г. Захаров<sup>1</sup>, В.Н. Ващенко<sup>2</sup>, В.Н. Павлович<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НТЦ «Геоиндустрия», Харьков, Украина, e-mail: enio@geoind.ua

<sup>2</sup>Киевский Национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

<sup>3</sup>Институт ядерных исследований НАНУ, Киев, Украина

**Анотація.** Представлено результати попередньої інтерпретації вимірювань біля узбережжя Антарктиди методом геополяритонного зондування (ГПЗ), який дозволяє отримувати інформацію про напружено-деформований стан гірських порід. Вимірювання виконано у 2005–2006 рр. на льодовику о. Галіндез і на судах X–XI Української Антарктичної експедиції вздовж узбережжя Антарктичного півострова від станції Академік Вернадський до Південних Шетландських островів і через протоку Дрейка.

**A study of depth structure of the earth crust At the Antarctica coast by a geopolariton sounding technique.** Yu.A. Bogdanov, I.G. Zakharov, V.M. Vashchenko, V.M. Pavlovych

**Summary.** The results of a preliminary interpretation of the measurements at the Antarctic coast by a geopolariton sounding technique are presented. The technique allows to obtain an information about the strained and deformed state of the rocks. The measurements are carried out in 2005–2006 on a glacier at Galindez Island and at the ships of the X–XI Ukrainian Antarctic Expedition along the continent coast from the Akademik Vernadsky Station up to South Shetland Islands and through the Dreyk Strait.

**Аннотация.** Представлены результаты предварительной интерпретации измерений у побережья Антарктиды методом геополяритонного зондирования (ГПЗ), который позволяет получать информацию о напряженно-деформированном состоянии горных пород. Измерения выполнены в 2005–2006 гг. на леднике о. Галиндез и на судах X–XI Украинской Антарктической экспедиции вдоль побережья материка от станции Академик Вернадский до Южных Шетландских островов и через пролив Дрейка.

### Введение

В районе Антарктиды выявлены разнообразные геологические структуры – рифтогенные грабены, глубинные разломы и др., которые представляют интерес для современной геодинамики (Корепанов и др., 2005). Измерения с помощью метода геополяритонного зондирования (ГПЗ) (Богданов и др., 2001), дающего информацию о напряженно-деформированном состоянии глубинных пород, могут оказаться существенным дополнением к выполненным ранее геофизическим исследованиям. Имеющиеся методические и экспериментальные наработки позволяют не только выявлять современную сетку напряжений, но и выделять структурные нарушения и другие геологические объекты, сформировавшиеся ранее.

В данной работе рассмотрены результаты измерений трех объектов различного масштаба: ледник на о. Галиндез, структурные геологические элементы прибрежной зоны (шельфа) Антарктического полуострова и глубинное строение земной коры под проливом Дрейка.

### Геополяритоны

Поляритон в физике твердого тела называют смешанное состояние электромагнитного поля и оптических колебаний кристаллической решетки. Они могут возникать в сложных кристаллах, имеющих более одного атома в элементарной ячейке. В таких кристаллах возбуждение колебаний кристаллической решетки сопровождается возбуждением дипольного момента, а значит и генерацией электромагнитного поля. В результате по кристаллу распространяется смесь электромагнитной волны и волны оптических колебаний решетки (оптических фононов).

Колебания решетки возбуждаются в кристаллах благодаря отличной от нуля температуре кристалла и благодаря рождению и исчезновению дефектов кристаллической решетки. В равновесных ненапряженных условиях вследствие температурных флуктуаций образуются в основном точечные дефекты, причем в небольших количествах. При наличии напряжений количество дефектов возрастает, и в зависимости от типа и величины напряжений могут появляться более сложные дефекты (дислокации, микротрещины и др.). Если напряжения неоднородны, то в более напряженных областях появляется большее количество дефектов, т.е. количество дефектов может служить мерой напряженного состояния кристалла. Поскольку появление каждого дефекта сопровождается генерацией электромагнитной волны (поляритона в диэлектрических кристаллах), то плотность электромагнитного поля должна отражать распределение напряжений в кристалле.

Более того, при прохождении поляритона через напряженный кристалл электромагнитное поле раскачивает атомы в противофазе, стимулируя таким образом появление новых дефектов (в частности, микротрещин). В свою очередь, каждое появление дефекта возбуждает электромагнитную волну, усиливая таким образом первичную волну, стимулирующую появление дефекта. При этом вторичная волна возникает когерентно с первичной волной, поскольку это происходит вследствие «раскачки» атомов первичной волной. Таким образом, мы приходим к сверхизлучению Дике, возникающему при появлении дефектов в напряженных кристаллах.

Земная кора состоит из диэлектрических поликристаллов со сложной элементарной ячейкой. Земная кора находится под напряжением гравитационных сил сжатия и сил сдвига, обусловленных взаимодействием движущейся мантии и «статической» земной коры. Поскольку структура коры и мантии является неоднородной, то и напряжения, возникающие в коре и мантии, также являются неоднородными. Вследствие напряжений в коре и мантии непрерывно появляются и исчезают дефекты кристаллической структуры, и поэтому генерируются электромагнитные волны по механизму Дике со слабым затуханием. Эти волны можно регистрировать на поверхности планеты и после соответствующей математической обработки восстановить структурные особенности земной коры и мантии. Естественно, что при этом используются некоторые эмпирические приемы и правила, выработанные при обработке результатов измерений излучения от известных геологических структур и пород.

### Измерения

Измерения выполнены с помощью прибора «Тезей» (Альошин и Богданов, 2004) в 2005–2006 гг. на леднике о. Галиндез и на судне по пути следования вдоль побережья от станции Академик Вернадский до Южных Шетландских островов и через пролив Дрейка. Измерения на судне выполнены с интервалом 1 мин. Прибор представляет собой анализатор активности геополяритонного поля, регистрирующий число импульсов с амплитудой выше 5 мкВ/м с широкополосной приемной рамочной антенной (фиксируется магнитная компонента электромагнитного поля, перпендикулярная плоскости рамки). Благодаря предварительной фильтрации удается в значительной мере снизить влияние на результаты измерений антропогенных источников электромагнитных полей.

### Результаты

*Ледник.* Координаты точек на профиле и высота над уровнем моря определялись с использованием GPS технологии. Работы на леднике острова Галиндез выполнялись методом профилирования с непрерывной записью данных измерений и координат в контроллер DGPS. Схема расположения профилей приведена на рис. 1.

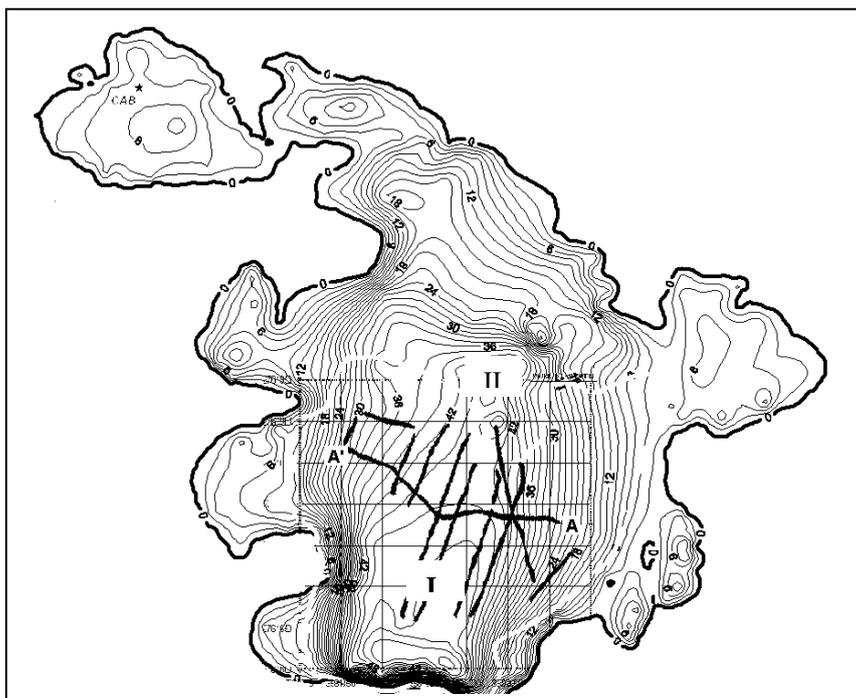


Рис. 1. Схема расположения профилей геополяритонного зондирования.

Результаты измерений представлены в виде карт интенсивности геополяритонного излучения (ГПИ) (рис. 2) и разреза по линии А'–А. (рис. 3). Контуром показана граница ледника.

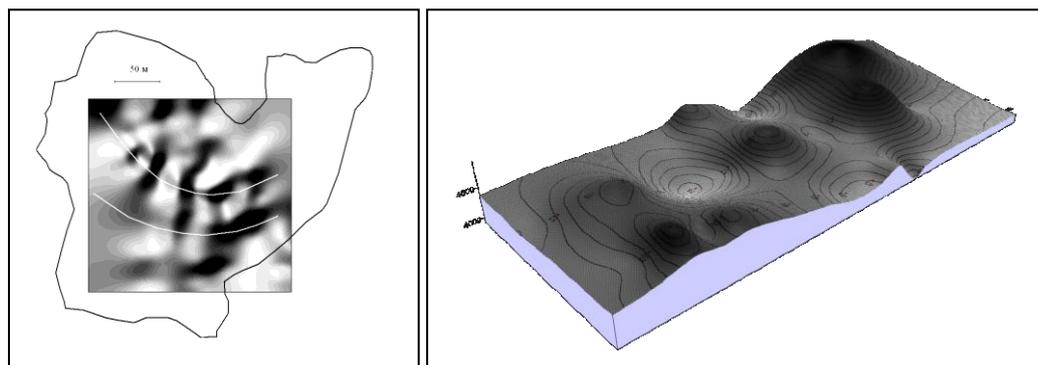


Рис. 2. Карта интенсивности геополяритонного излучения на леднике о. Галиндез. Контуром показана граница ледника. Белые линии – дугообразные нарушения. Справа – фрагмент обводненного участка поверхности горных пород на глубине 22 м от поверхности ледника (светлый тон).

На карте (рис. 2) видны структурные нарушения субмеридионального протяжения и субширотные дугоподобные нарушения, которые могут быть вызваны смещением ледника.

Как известно, линия максимальных скоростей движения ледника обычно проходит по его середине. Поперек ледника от осевой линии скорости движения льда постепенно уменьшаются, что связано с трением льда о ложе и борта долины. В нашем случае дугообразные нарушения как раз и могут быть обусловлены таким изменением скоростей. Зона максимальной выпуклости выявленных нарушений (или нормаль к дугам) указывает на направление смещения ледника на юго-юго-запад.

Разрез вдоль линии А'–А (рис. 3) построен вдоль самого длинного профиля, проходящего с северо-северо-запада до центральной части ледника, далее – на восток.

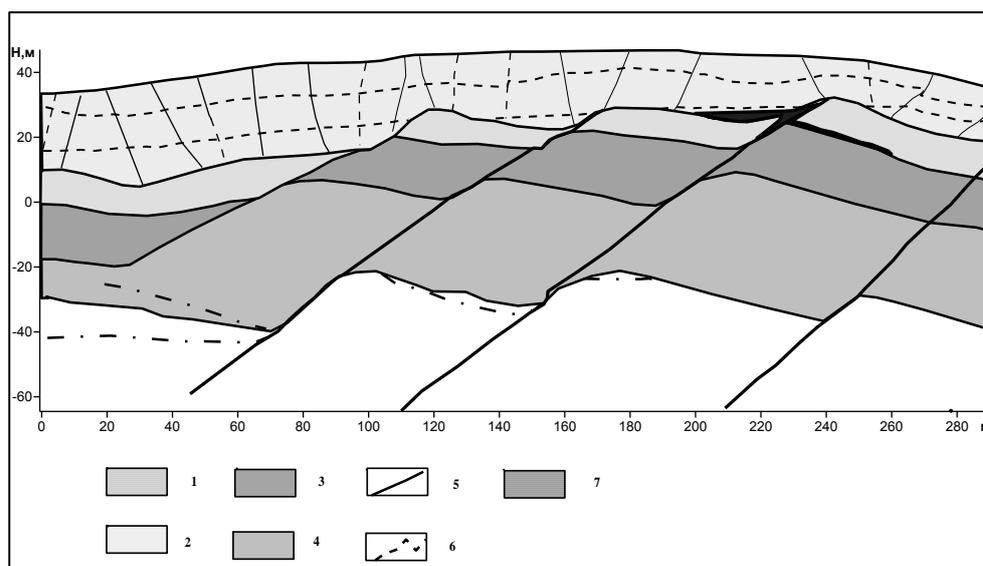


Рис. 3. Геофизический разрез через центральную часть ледника по профилю А'–А. Цифрами обозначены: 1– ледниковый покров, 2, 3, 4 – литологические границы, 5 – разрывные нарушения, 6 – фирн, 7 – водонасыщенный горизонт.

На разрезе выделены нижняя граница ледника и достаточно сложная система нарушений как в леднике (трещины), так и в земных недрах. В толще ледника выделяются также две границы на глубине порядка 10 и 20 метров от поверхности ледника. Обе границы в большей мере повторяют форму поверхности ледника и лишь отчасти – подстилающую поверхность. По-видимому, они отражают фазы формирования ледника по мере превращения снега в лед, т.е. являются фирновыми поверхностями. Наличие более одного фирна может быть связано с неравномерным формированием ледника.

Трещины в леднике частично унаследовали структурные нарушения в грунте, частично обусловлены рельефом земной поверхности и движением ледника. Некоторые из выявленных нарушений могут быть зонами напряжений и соответственно формирующихся трещин. В нескольких местах, в основном на краю ледника, имеются признаки пещер или широких частей трещин, обычно приуроченных к пересечению трещин и выделенных слоев внутри льда.

При большей толщине ледника преобладают трещины субвертикальные с наклоном в сторону уклона подстилающей поверхности. При меньшей толщине ледника наклон трещин увеличивается. Можно допустить, что для данного ледника реализуются оба вида движения, характерные для ледников, – вязкопластическое течение и глыбовое скольжение по ложу. Первый вид движения преобладает в восточной части ледника (см. правую часть рис. 3), где при сравнительно небольшой толщине ледника наблюдаются сильно наклоненные в сторону движения трещины или зоны напряжений. Судя по наклону трещин, скорость верхних слоев льда больше, чем у основания. Подобное изменение скорости характерно для вязкопластического течения. Субвертикальные трещины в толстом слое льда (южная часть ледника) указывают на примерное равенство скорости движения льда во всей его толще, что является характерным для глыбового скольжения.

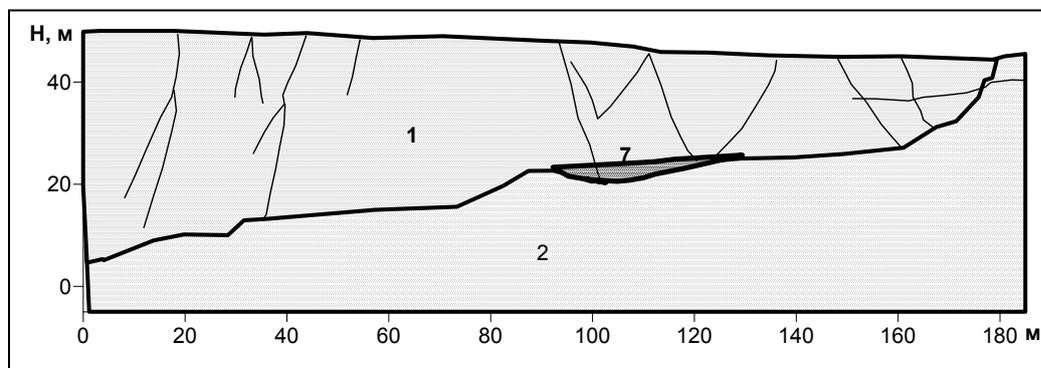


Рис. 4. Геофизический разрез через центральную часть ледника по профилю II. (Обозначения те же, что и на рис. 3).

У нижней границы ледника в некоторых местах отмечается присутствие жидкой воды. Наиболее уверенно наличие жидкой воды удалось проследить в юго-восточной части ледника (см. рис. 3, 4), где присутствие воды зарегистрировано как под ледником, так и в грунте вдоль наклонного геологического слоя, выходящего на краю острова к водной поверхности океана. Наиболее вероятным источником воды является таяние ледника, после чего вода просачивается в море. Нельзя исключить также просачивание воды из моря вдоль рыхлой границы геологических слоев. На карте (рис. 2 справа) насыщенным водой участкам грунта соответствуют темные пятна (пониженная интенсивность излучения) и, соответственно, несколько сниженные напряжения.

*Побережье (шельф).* Маршрут движения судна проходил вдоль побережья Антарктического полуострова. Измерения на шельфе были использованы прежде всего для оценки его нефтегазоносности. Для этого по данным ГПЗ проводился поиск положительных структур и прямой поиск предполагаемых ловушек углеводородов с использованием специальных признаков.

Удалось выделить несколько положительных структур с признаками нефтегазоносности. Одна из наиболее крупных структур расположена недалеко от станции Академик Вернадский в районе Аргентинских островов. Геолого-геофизический разрез структуры, по предварительным данным, представлен на рис. 5. Глубина залегания предполагаемых продуктивных слоев – от 700 до 2500 м. Другие прогнозируемые структуры находятся в районе островов Noseason и Cristiania.

Судя по результатам измерений, маршрут судна проходил над активным в геологическом отношении участком земной коры, о чем свидетельствуют признаки интрузий (основных пород) из нижележащих геологических слоев. Кроме района известного вулкана, подобные признаки отчетливо проявились примерно в 70 км на юго-запад от острова с вулканом.

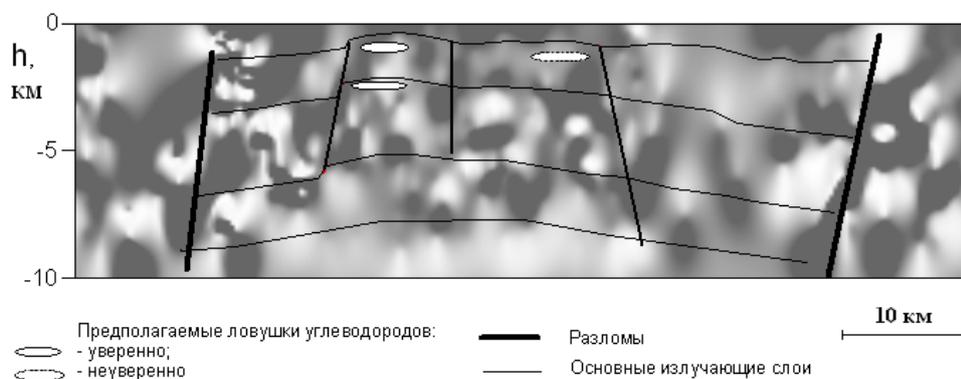


Рис. 5. Разрез северной части положительной структуры у западного побережья Антарктического полуострова южнее о. Анверс с предполагаемыми ловушками углеводородов.

*Район пролива Дрейка.* Измерения охватывают южную часть пролива Дрейка (более половины его ширины). По данным ГПЗ, в исследованном районе пролива Дрейка выделены несколько глубинных разломов и несколько геологических слоев на глубине порядка 15, 30 и 60 км (рис. 6). Последующее сравнение с имеющимися геологическими данными показало, что глубинные разломы совпадают с границами плиты Скотия, а первый из глубинных слоев совпал с поверхностью Мохо. Более глубокие слои соответствуют зонам формирования глубокофокусных землетрясений.

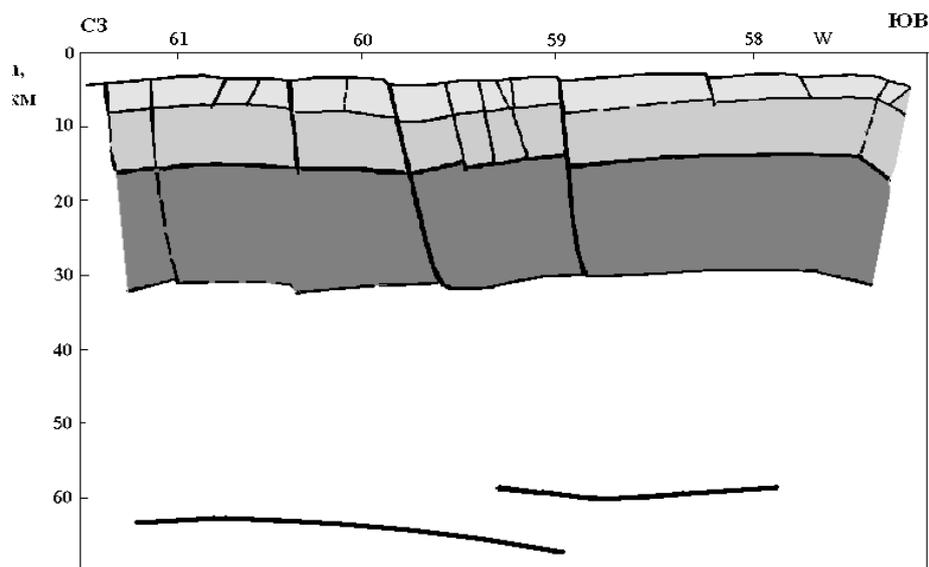


Рис. 6. Схематический разрез земной коры под проливом Дрейка.

Ранее наличие глубоких геологических слоев по данным ГПЗ было установлено в фундаменте Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Здесь, кроме поверхности Мохо на глубине 33–39 км, был также уверенно выделен слой на глубине 65–73 км. Указанные интервалы глубин соответствуют изменению глубины зарегистрированных слоев в пределах исследованной части ДДВ.

Обнаружение нескольких слоев ниже границы Мохо подтверждает мнение о существовании нескольких астеносферных слоев с разными вязкостными параметрами.

### Заключение

Информация о напряженно-деформированном состоянии горных пород, полученная методом ГПЗ, позволяет существенно дополнить данные других геофизических методов. Так, по результатам предварительного анализа получены следующие основные результаты:

1. Установлено наличие воды под ледником на о. Галиндез, получена дополнительная информация о движении ледника. Выделены фирновые слои, отражающие стадии формирования ледника.
2. Получено подтверждение перспективности антарктического шельфа для поисков месторождений нефти и газа.
3. Установлено наличие глубинных разломов и глубоких геологических слоев под поверхностью Мохо, которые говорят о существенной неоднородности земной коры на глубине в десятки километров.

### Литература

**Альошин Г.В.,** Богданов Ю.О. Пристрій для реєстрації природного електромагнітного поля Землі // Патент України № 70417 / G01V3108. 15.10.2004.

**Богданов Ю.А.,** Буняк Б.Т., Воронин В.И., Уваров В.Н., Черняков А.М.. Электромагнитно-деформационное излучение недр в исследовании геологических объектов/ Нефтегазовые технологии, № 3, май–июнь 2001, Россия, с. 28–31.

**Корепанов В.Є.,** Міліневський Г.П., Максимчук В.Ю., Жаданівський Б.Т., Накалов Є.Ф. Стан та перспективи дослідження глибинної будови та динаміки земної кори в районі станції «Академік Вернадський» геоелектричними методами // Электромагнитные проявления геофизических эффектов в Антарктиде / Под ред. Л.Н. Литвиненко, Ю.М. Ямпольского. – Харьков, Радиоастрономический ин-т НАН Украины, 2005. – С. 88–101.