

Structure of the Sea of Galilee and Kinarot Valley derived from combined geological-geophysical analysis

Строение Галилейского моря и долины Kinarot полученные на основе комплексного геолого-геофизического анализа

Лев Эппельбаум¹, Цви Бен-Аврахам¹, и Юрий Кац²

Краткое геологическое описание

Галилейское море (озеро Киннерет) расположено в северном Израиле в области сложного тектонического строения, где разлом Мертвого моря (РММ) (рис 1) пересекают разломы других систем. Эта структура, более чем 1000 км длиной, является границей, разделяющей Синайскую и Аравийскую плиты (Garfunkel et al., 1981). Это озеро расположено в пределах более обширной структуры – впадины Бейт-Шеан–Киннерет. С другой стороны, сама впадина Киннерет является частью системы линейно ориентированных грабенообразных прогибов, маркирующих разлом Мертвого моря. Ряд грабенов имеет ромбовидный характер (Freund et al., 1970). Озеро является главным источником пресной воды в Израиле и имеет среднюю площадь поверхности 166 км² и средний объем 4·10⁹ м³. В северо-восточной части бассейна отмечается максимальная глубина озера (приблизительно 50 м) (рис 1С). Современные очертания озера Киннерет сформировались около 24 000 лет назад (Hazan et al., 2005). По данным изучения скважин и естественных обнажений в зоне берегового обрамления озера было выявлено развитие пород начиная с юрского возраста и кончая четвертичными.

Озеро и его южная прибрежная равнина (впадина Кинарот) расположены в зоне интенсивного погружения. Оно ограничено к западу и востоку активными разломами, характеризующимися высокой амплитудой вертикального перемещения. В пределах самого озера было установлено несколько батиметрических ступеней (Ben-Avraham и др., 1986). К западу от озера развиты разломы северо-западного, а к востоку – северо-восточного простирания. В обнажениях района озера Киннерет выявлены образования, принадлежащие к двум фазам базальтового вулканизма – миоценовой и плиоценово-четвертичной (Shaliv, 1991; Heimann et al., 1996). Эти базальтовые формации расположены в западной части северного окончания крупного вулканического покрова Харрат-е-Шамах общей площадью около 40,000 км² (Weinstein et al., 2006). Во впадине озера Киннерет базальты покрыты толщей плиоценово-четвертичных терригенных образований. Эти базальты подстилаются мощной соленосной толщей миоцена (Markus and Slager, 1985). Наложение вертикальных смещений, перпендикулярных или наклонных к трансформному разлому Мертвого моря, затрудняет структурную интерпретацию исследуемого бассейна (Ben-Avraham et al., 1996).

Предыдущие геофизические исследования

Предыдущие геофизические исследования озера Киннерет включали сейсмические измерения методом преломленных и отраженных волн с использованием различных подходов (Ben-Avraham et al., 1981; 1986; Hurwitz et al., Hurwitz et al., 2002;

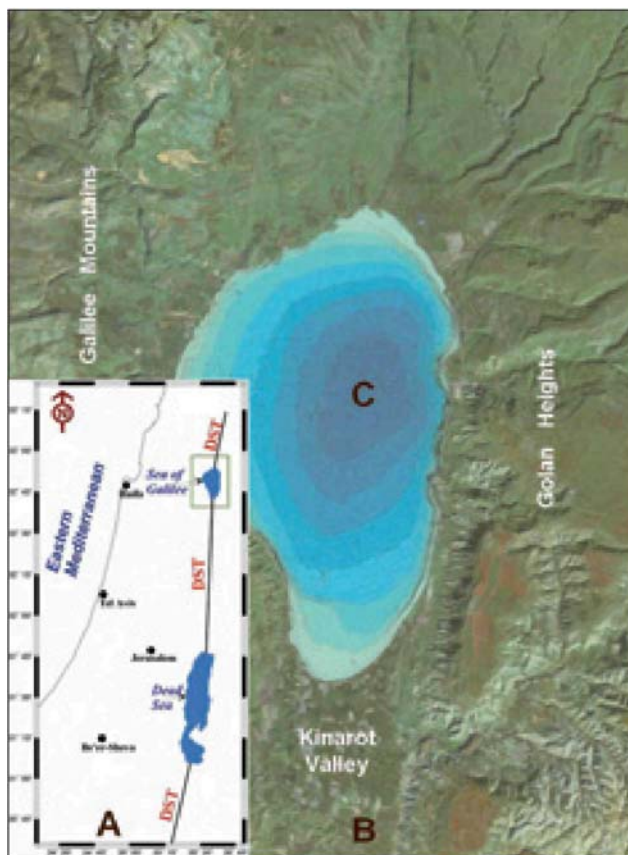


Рис 1 а) Схема расположения разлома Мертвого моря (озеро Киннерет и его окрестности выделены прямоугольником), б) Спутниковое изображение области исследования (фрагмент со спутника NASA's LANDSAT 5 совместно с французским спутником French SPOT), в) Батиметрическая карта озера Киннерет (по Ben-Avraham et al., 1990).

Reznikov et al., 2004), магнитные исследования (Ben-Avraham et al., 1980; Ginzburg and Ben-Avraham, 1986), измерения теплового поля (Ben-Avraham et al., 1978), гравиметрические исследования измерения (Ben-Avraham et al., 1996), и анализ электромагнитного поля (Goldman et al., 1996, 2004). Ben-Avraham et al., (1990) провели детальное батиметрическое картирование озера Сейсмическое профилирование было проведено к северу и к югу от озера

¹ Department of Geophysics and Planetary Sciences, Raymond and Beverly Sackler Faculty of Exact Sciences, Tel Aviv University, Ramat Aviv 69978, Tel Aviv, Israel; E-mail: levap@post.tau.ac.il.

² Paleontological Division of Zoological Museum, Dept. of Zoology, Faculty of Life Sciences, Tel Aviv University, Ramat Aviv 69978, Tel Aviv, Israel.

(Rotstein and Bartov, 1989; Rotstein et al., 1992). Для базальтовых формаций позднего кайнозоя были разработаны хроностратиграфическая и магнито-стратиграфическая шкалы (Eppelbaum et al., 2004a). Магнитометрическое картирование было применено для анализа пространственного распределения магнитоактивных базальтовых образований (Eppelbaum et al., 2004b). Представленная работа существенно уточняет и детализирует предшествующие исследования: (1) построена единая магнитная карта озера Киннерет и впадины Кинарот, (2) построен субмеридиональный палеомагнитный профиль через впадину Кинарот, озеро Киннерет и плато Коразим, (3) ранее построенные карты были уточнены и дополнены. На основе этих материалов была построена новая структурная схема исследуемого района.

Анализ магнитных данных

Предварительный анализ и составление карт

Магнитная карта озера Киннерет (рис 2А) показывает разнородное и в то же время высокоинформативное распределение магнитного поля. Эта сложная картина отражает влияние прибрежных базальтов и магнитных источников, залегающих в пределах озера. В бассейне были идентифицированы положительные и отрицательные магнитные аномалии. Ранее было показано, что отрицательные магнитные аномалии связаны с обратно намагниченными базальтами (Eppelbaum et al., 2004a). Магнитная карта озера Киннерет (Ben-Avraham et al., 1980) была объединена с картой поверхностной магнитной съемки долины Кинарот (Ginzburg and Ben-Avraham, 1986). Обобщенная магнитная карта совместно со

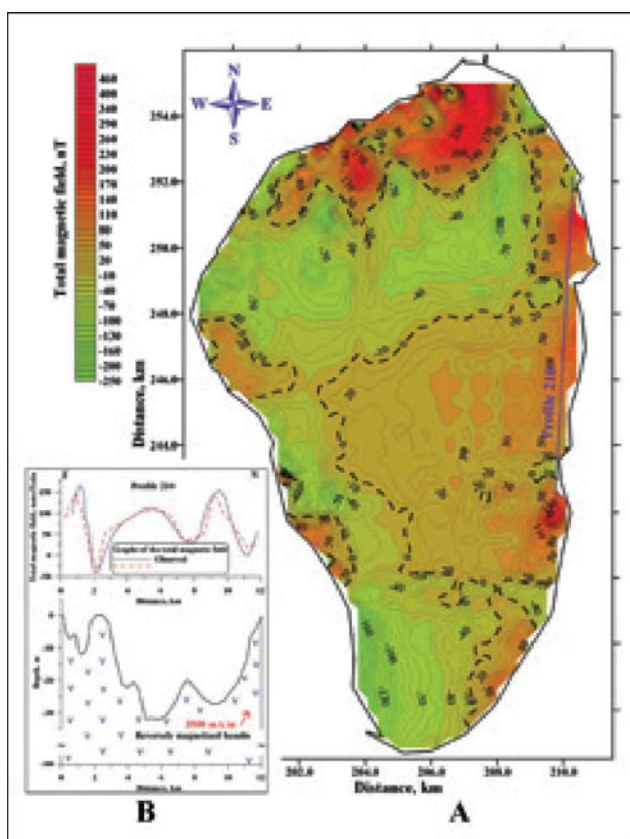


Рис 2 а) Озеро Киннерет: карта магнитного поля (ΔT), б) Результаты трехмерного моделирования магнитного поля по профилю 210 (восточная часть озера) указывающие на наличие узкой зоны обратной намагниченности.

структурной картой распределения свиты покровных базальтов представлена на рисунке 3. Эта карта показывает, что, по крайней мере часть магнитных аномалий связана с магматическими источниками другого возраста (например, в долине Кинарот и в областях размыва покровных базальтов вне озера).

Количественная интерпретация

Основные методы интерпретации, применяющиеся в магнитной разведке, предназначены для случаев вертикального намагничивания. Для косого намагничивания (в Израиле, магнитное наклонение составляет $42-46^\circ$) эти методы могут обусловить существенные ошибки. Наша интерпретация включает применение методов, разработанных специально для количественного анализа магнитных аномалий в сложных средах (косое намагничивание, пересеченный рельеф, и неизвестный уровень нормального поля) (Khesin et al., 1996). Мы применили улучшенные версии метода характерных точек, метода касательных, и метод площадей. Для аппроксимации аномальных объектов были использованы широко используемые геометрические модели маломощного пласта (МП) и горизонтального кругового цилиндра (ГКЦ).

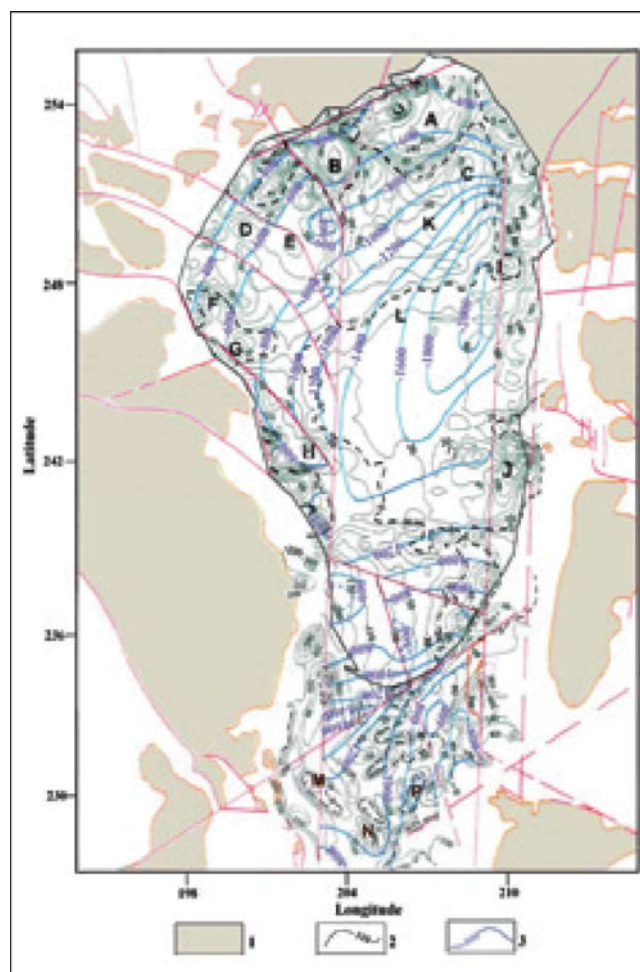


Рис 3 Упрощенная магнитная карта озера Киннерет, долины Кинарот и окружающих обнажений свиты покровных базальтов. (1) свита покровных базальтов, выходящих на поверхность (на основе Sneh и др., 1998), (2) изолинии магнитного поля (магнитные данные для озера Киннерет по Ben-Avraham et al., 1980, магнитные данные для долины Кинарот по Ginzburg and Ben-Avraham, 1986), (3) изолинии поверхности свиты покровных базальтов (по Eppelbaum et al., 2004b), построенные на основе сейсмических данных (Rotstein and Bartov, 1989; Ben-Gai and Reznikov, 1997; Zurieli, 2002). Красные линии показывают положение разломов.

Диапазон определенных глубин магнитных источников лежит между -1500 м. (ниже среднего уровня моря) для центра ГКЦ (для аномалий А и L) и -420 м. для верхней кромки МП (для аномалии М). Рассчитанное намагничение возмущающих объектов имеет диапазон от 0.015 до 0.06 единиц СИ, и находится в соответствии с измерениями намагниченности базальтовых образцов в изучаемом районе (например, Nug и Helsey, 1971). Примеры выполненной количественной интерпретации аномалий В (по меридиональному и широтному профилям) и С представлены на рисунке 4. Надо отметить, что определенная глубина залегания верхней кромки аномалии В составляет -650 м для широтного профиля и -640 м для меридионального профиля (или -440 и -430 м., соответственно, от уровня озера), то есть возможная ошибка не превышает 2%. Обобщенные результаты количественной интерпретации, объединенные с палеомагнитными и радиометрическими данными, показаны на рисунке 5.

Трехмерное моделирование магнитного поля

Для трехмерного моделирования магнитного поля использовалась программа GSFC (Geological Space Field Calculation). Базовый алгоритм GSFC дает решение прямой трехмерной задачи грави- и магниторазведки для горизонтальной многоугольной призмы, ограниченной по простиранию (Eppelbaum and Khesin, 2004).

Прежде всего, трехмерное моделирование магнитного поля применялось для проверки результатов интерпретации, полученных на предыдущем этапе. Результаты моделирования, выполненного для нескольких аномалий, подтверждают данные, полученные методами количественной интерпретации.

Как видно из обзора предшествующих палеомагнитных исследований (Heimann et al., 1996), в районах, окружающих бассейн, было выделено большое количество базальтовых образцов с обратным намагничением. Профиль 210, расположенный в восточной части бассейна (рис 2В), указывает на интересную особенность разреза: четкую обратную корреляцию между интенсивностью магнитного поля ΔT и максимальными значениями рельефа дна. Мы предполагаем, что этот эффект вызван залеганием обратно намагниченных горных пород вблизи дна озера. Трехмерное моделирование дало возможность оценить значения намагничения и положение вектора намагничивания: 3500 мА/м. и -70° , соответственно. Основываясь на анализе возраста пород и магнитных полярностях вокруг озера, мы предполагаем, что обратно намагниченные базальты имеют раннеплиоценовый возраст. Отсутствие значительных магнитных аномалий в центральной части бассейна объясняется постбазальтовым заполнением осадочного бассейна (Eppelbaum et al., 2004b). Трехмерное моделирование магнитного поля предполагает залегание отдельных магнитных источников на глубине 1.2-1.4 км.

Характеристика магнитного поля в южной части озера значительно отличается от магнитного поля других частей бассейна. Трехмерное моделирование показывает, что такое распределение магнитного поля может быть вызвано положительно намагниченным базальтовым плато, погружающимся с СВ на ЮЗ под углом 10° . Анализ данных сейсмического профилирования (Rotstein et al., 1992) выполненного в долине Кинарот, так же как и построенный С-Ю палеомагнитный профиль, проходящий через скважину Zemah 1 (рис. 6) позволяют предположить, что это падение параллельно СВ крылу оси антиклинали Zemah.

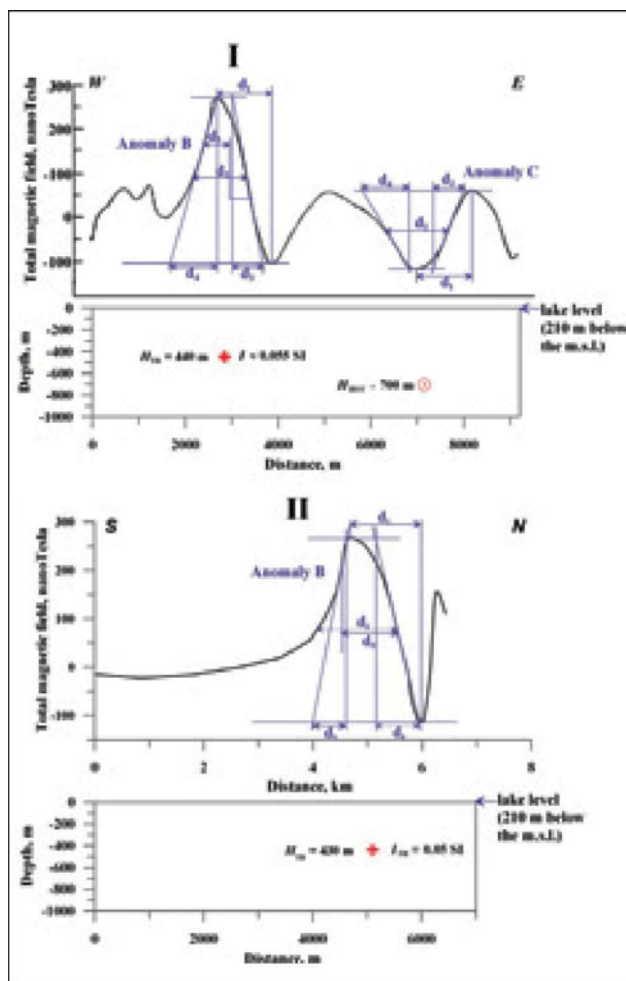


Рис 4 Результат количественной интерпретации аномалий В и С (аномалия В проинтерпретирована вдоль широтного (I) и меридионального (II) профилей).

Базальты, окружающие озеро Kinneret

Базальтовые покровы осложнены рядом ограниченных разломами блоков, окружающих озеро Киннерет (рис. 3). Более чем 80% прибрежных базальтов соответствует свите покровных базальтов плиоценового возраста, имеющей мощность 150-200 м. В пределах рифтовой долины (в скважине Zemah 1) мощность базальтов достигает 700 м (Markus and Slager, 1985). Для позднекайнозойских базальтовых формаций района разработаны хроностратиграфическая и магнито-стратиграфическая шкалы (Eppelbaum et al., 2004a). Для 25 участков в бассейне озера Киннерет установлены зоны прямой и обратной магнитной полярности (рис. 5).

В бассейне озера Киннерет возраст позднекайнозойских базальтов обеспечен более чем 300 радиометрическими анализами (Heimann, 1990; Shaliv, 1991; Heimann et al., 1996). Непосредственно в изучаемом районе радиометрический возраст базальтов (отвечающих среднему миоцену – плейстоцену), был замерен более чем в 100 пунктах. Для построения палеомагнитной карты были отобраны 58 пунктов (где развита главным образом свита покровных базальтов среднего плиоцена, а также позднемиоценовые, позднелиоценовые и позднелистоценовые базальты) (рис. 5).

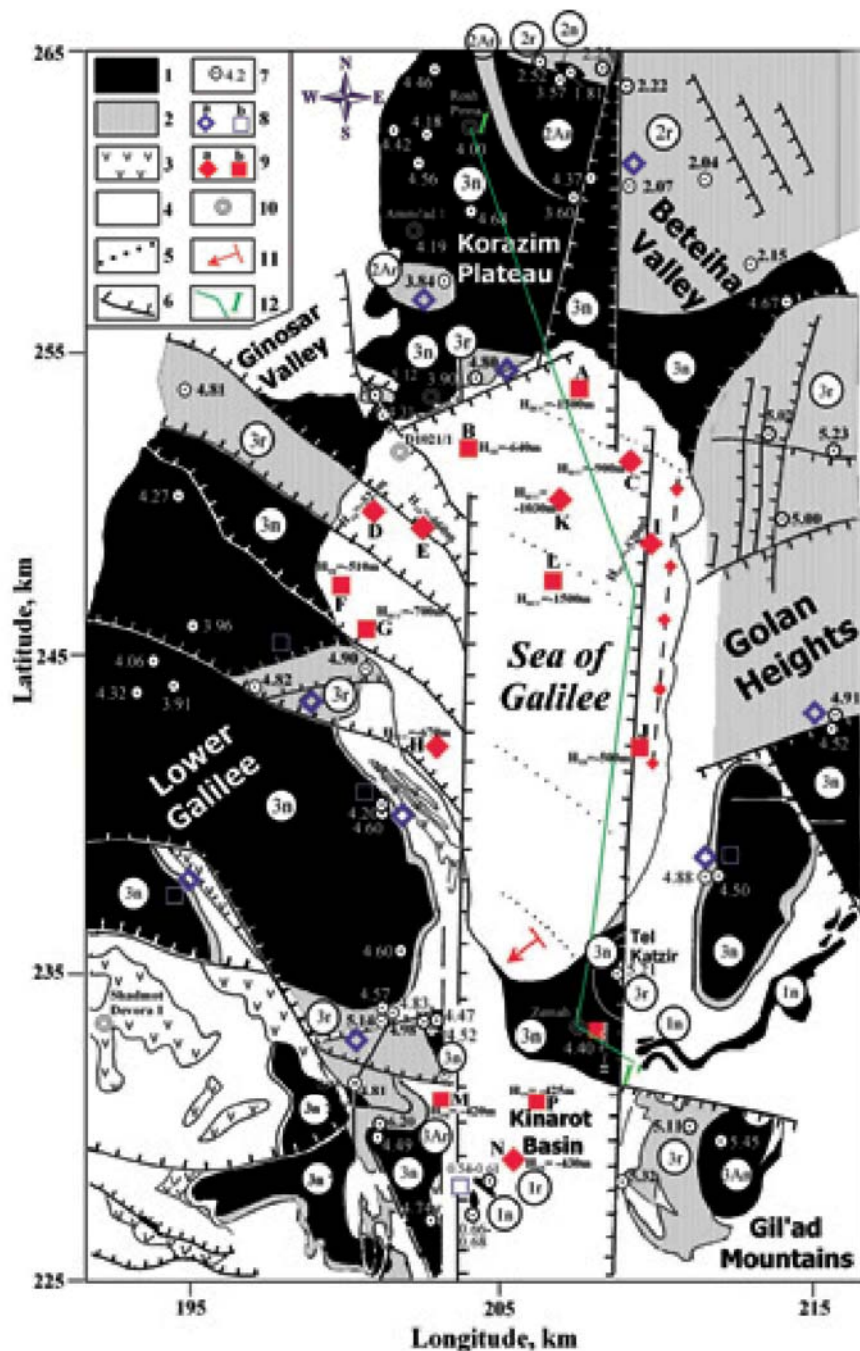


Рис 5 Озеро Киннерет: Схема магнитных, палеомагнитных и радиометрических характеристик базальтовых формаций (по Erpelbaht et al., 2004a, с дополнениями и исправлениями) (1) пряномагнитные базальты, (2) обратно намагнитные базальты, (3) неогеновые базальты со сложной палеомагнитной характеристикой, (4) осадочные отложения, (5) предполагаемые границы палеомагнитных зон в озере, (6) разломы, (7) радиометрический возраст базальтов (в млн. лет.), (8) данные наземных палеомагнитных измерений: а - обратное намагничивание, b - нормальное намагничивание, (9) результаты анализа магнитного поля в озере: а - обратное намагничивание, b - прямое намагничивание, (10) буровые скважины, (11) обобщенное направление предполагаемого падения глубокозалегающей базальтовой плиты, (12) положение палеомагнитного профиля. Тектонические элементы по Heimann (1990), Ben-Avraham et al., (1996), Sneh (1998), и Hurwitz et al., (2002). 1n, 2n, 3n, 1Ar, 2Ar, и 3Ar - индексы палеомагнитных зон. Радиометрические данные по Heimann (1990), Shaliv (1991), Heimann et al., (1996), и Heimann and Braun (2000). Палеомагнитные данные по Freund et al., (1965), Nur and Helsey (1971), Ron et al., (1984), Heimann (1990), Shaliv (1991), Heimann et al., (1996), и Heimann and Braun (2000). Н_{гтв} Н_{нсс} указывают на вычисленную глубину залегания базальтов в бассейне: верхнюю кромку для модели тонкого пласта и положение центра для модели горизонтального кругового цилиндра, соответственно. Линия "I-I" показывает расположение палеомагнитного профиля.

Обобщенный анализ пространственного расположения базальтовых формаций.

Хорошо известно, что комплексный подход резко увеличивает количество геолого-геофизической информации и ее достоверность (например, Khesin et al., 1996). Комплексное палеомагнитное и радиометрическое геологическое картирование было успешно применено McDougall et al., (1977) для исследования разреза лавовых образований западной Исландии.

Магнито-геологическая карта бассейна и прилегающих районов, включающая главные разломные зоны сбросов и подзоны палеомагнитных полярностей покровных базальтов, а также результаты интерпретации магнитных аномалий в озере Киннерет и долине Кинарот, представлены на рисунке 5. Идентификация палеомагнитных зон в каждом тектоническом блоке была осуществлена путем корреляции между палеомагнитными и радиометрическими данными. Базальты образуют почти полную последовательность от позднего плейстоцена до конца позднего миоцена, что подтверждается наличием магнитозон 1n, 2n, 2r, 2An, 2Ar, 3n, 3r, 3An, и 3Ar. Большинство зон нормальной и обратной полярности, определенных на западном борту бассейна (рис 5) может быть отождествлено с соседними зонами на периферии озера. Однако магнитные аномалии на восточном и северном обрамлении озера не соответствуют магнитным характеристикам береговых образований. Особый интерес представляет наличие узкой зоны обратного намагничивания в восточной части озера. Мы можем предположить, что эта зона соответствует интрузивным комплексам более молодой палеомагнитной зоны 2Ar.

С – Ю палеомагнитный профиль (I-I') (рис. 6) показывает, что эта область может быть разделена на три структурные зоны: плато Коразим на севере, озеро Киннерет в центральной части, и долина Кинарот на юге. Плато Коразим представляет собой приподнятый блок, сложенный главным образом мезозойскими образованиями, покрытыми плиоценовыми базальтами (мощностью до 200-250 м). К югу от этого блока развита тектоническая впадина озера Киннерет, выполненная мощной толщей (более 4 км) четвертично-миоценовых отложений. Такие же образования развиты в бассейне Кинарот, где наряду со свитой покровных базальтов развиты раннеплиоценовые диабазовые тела и силлы четвертичных базальтов.

Результаты анализа магнитных и палеомагнитных данных с использованием сейсмических (Rotstein and Bartov, 1989; Rotstein et al., 1992; Ben-Gai and Reznikov, 1997; Hurwitz et al., 2002) и тектонических (Ben-Avraham et al., 1990; Heimann, 1990; Shaliv, 1991; Ben-Avraham et al., 1996; Heimann et al., 1996; Sneh et al., 1998; Matmon et al., 1999; Flexer et al., 2000; Heimann and Braun, 2000; Belitzky and Ben-Avraham, 2004) построений были применены для составления структурной карты свиты покровных базальтов озера Киннерет и его обрамления (рис. 7). Вне озера эта карта была построена на основе геологической карты Израиля (Sneh и др., 1998). Нужно подчеркнуть, что построенная карта (рис. 7) ясно определяет границы ромбовидного грабена в пределах озера. Это согласуется с результатами детального батиметрического картирования озера (Ben-Avraham et al., 1990).

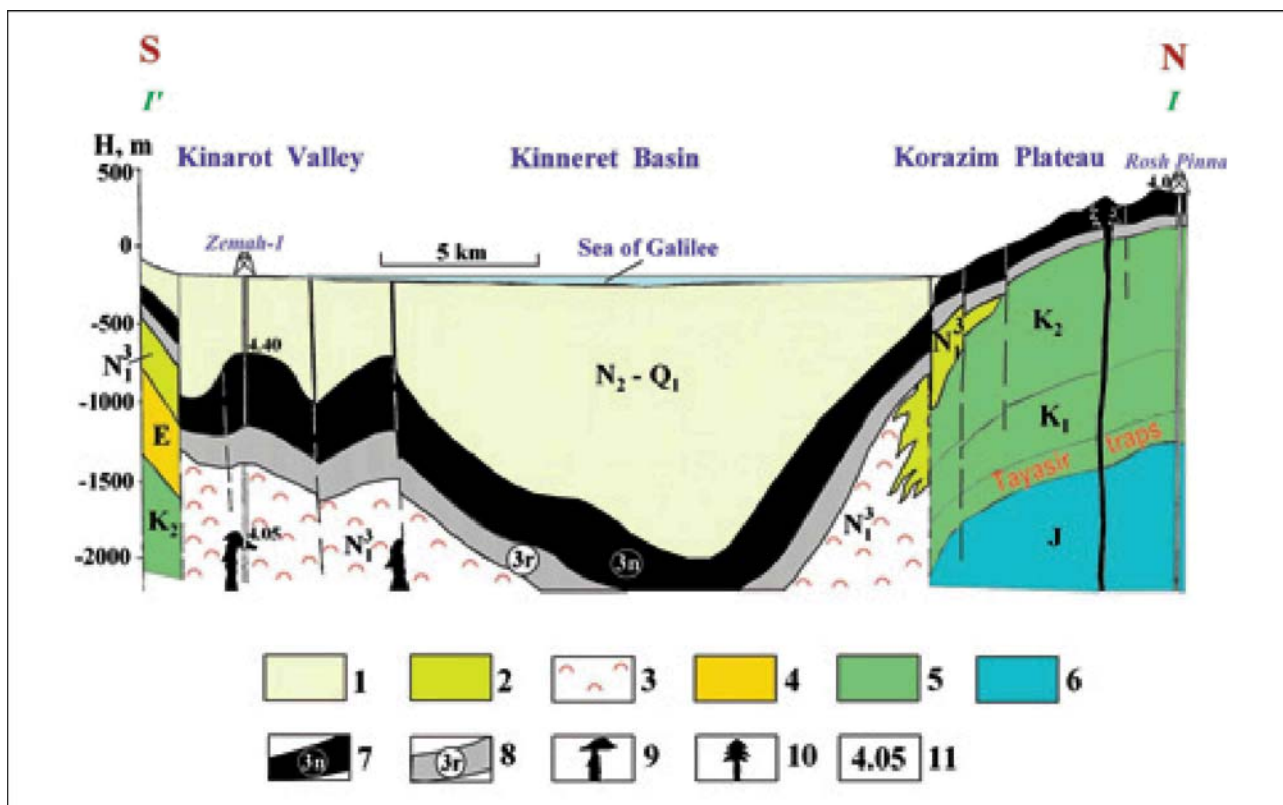


Рис 6 Палеомагнитный профиль по линии "I-I'". (1) позднелигоценно- четвертичные терригенные отложения, (2) позднелигоценные терригенные отложения, (3) позднелигоценные соляные отложения, (4) эоценовые отложения, (5) меловые отложения, (6) юрские отложения, (7) зона 3n прямо намагниченных покровных базальтов, (8) зона 3r обратно намагниченных покровных базальтов, (9) раннелигоценные габброидные тела, (10) раннелигоценные вулканы, (11) радиометрический возраст магматических формаций (в млн. лет).

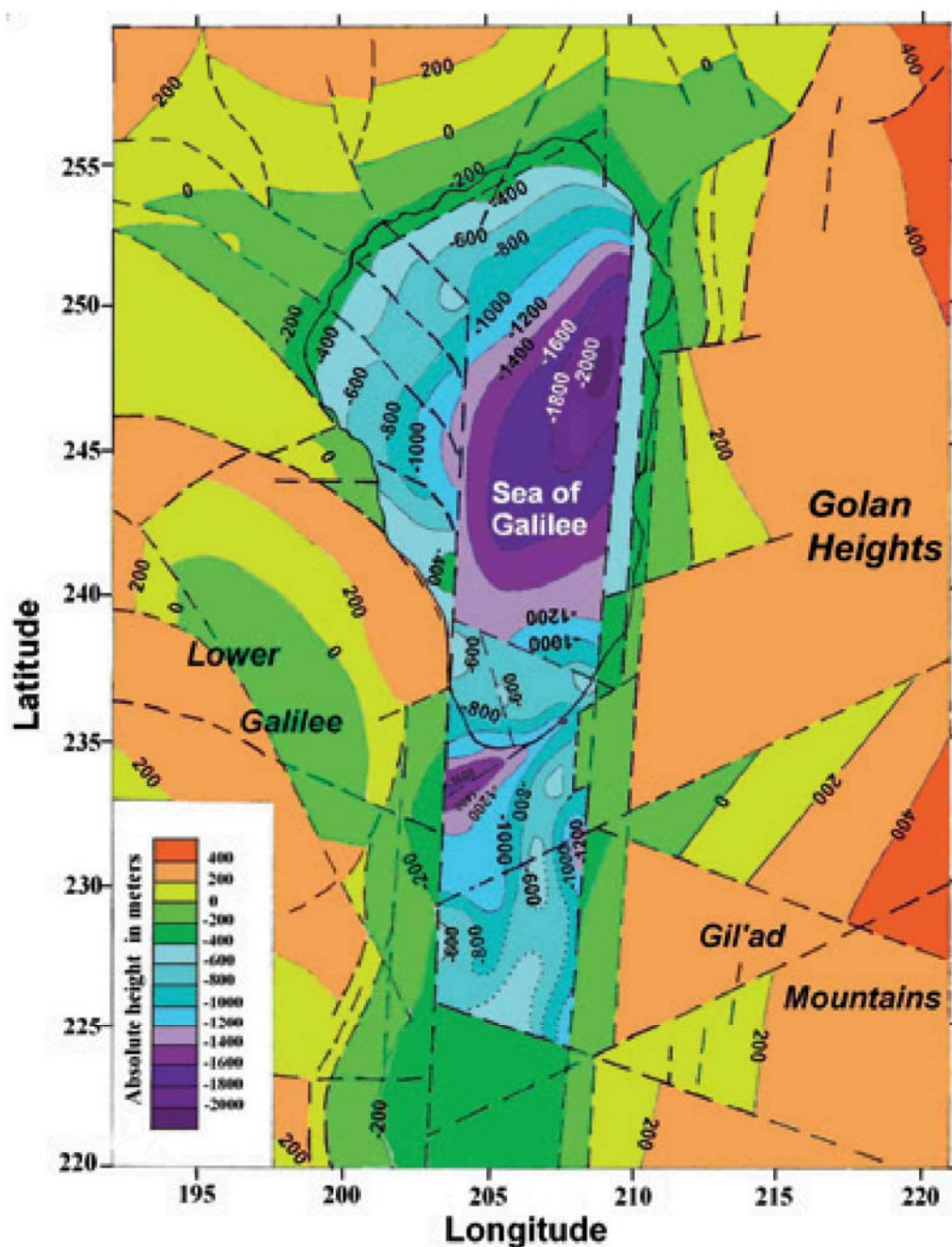


Рис 7 Структурная карта поверхности свиты покровных базальтов озера Киннерет и его обрамления (изолинии даются в метрах относительно среднего уровня моря). Штрих пунктиры показывают положение разломов.

Южная часть ромбовидного грабена ограничена диагональным тектоническим разломом (ЗСЗ - ВЮВ) (рис. 7), который был впервые выявлен на основе анализа сейсмоакустических данных (Ben-Avraham et al., 1986). Установлено, что западная граница ромбовидного грабена (рис. 7) согласуется с данными магниторазведки (рис. 2), анализом поля силы тяжести (Ben-Avraham et al., 1996), и результатами специальной математической обработки батиметрических данных озера (Guillon and Claerbout, 2004).

Анализ структурной карты свиты покровных базальтов (рис. 7) показывает, что скорость неотектонических поднятий за пределами озера составляет ≈ 0.05 мм/год, а скорость

неотектонического погружения озерного дна ≈ 0.5 мм/год. Повышенная тектоническая активность в бассейне озера также подтверждается относительно высоким значением теплового потока - 94 мВт/м^2 (Ben-Avraham et al., 1978) и результатами сейсмического анализа данных (Ben-Avraham et al., 1986; Reznikov et al., 2004).

Разработанная комплексная магнито-палеомагнитная схема (обеспеченная радиометрическими данными) и структурная карта кровли свиты покровных базальтов имеют существенное практическое значение для исследования структурно-тектонических, гидрогеологических особенностей и сейсмологического прогноза в рассматриваемом регионе.

Заключение

Была построена обобщенная карта магнитного поля для озера Киннерет и долины Кинарот на юге. Углубленный анализ магнитных аномалий на этих площадях позволил составить количественную схему пространственного распределения базальтов. Трехмерное моделирование магнитного поля было применено для определения глубины и намагничивания нескольких аномалий. Определенные глубины магнитоактивных тел имеют значения от -1500 м (центр ГКЦ для аномалий А и L) до -420 м (верхняя кромка МП для аномалии М). Рассчитанные значения величин намагничивания находятся в диапазоне от 0.015 до 0.06 единиц СИ. В центральной части озера, согласно результатам трехмерного моделирования магнитного поля, отдельные магнитные тела залегают на глубине 1.2-1.4 км. Анализ магнитных аномалий поля в южной части озера позволяет предположить, что глубокозалегающая базальтовая плита погружается с СВ на ЮЗ приблизительно под углом 10°. Обратная корреляция между магнитным полем и рельефом дна в восточной части озера указывает на поверхностное или приповерхностное залегание базальтовой формации предположительно раннеплиоценового возраста. Результаты магнитного анализа данных были интегрированы с детальными палеомагнитными и радиометрическими исследованиями. Магнито-палеомагнитная радиометрическая схема отражает очень сложную тектоническо-структурную палитру озера Киннерет и долины Кинарот. Вертикальное смещение базальтовых блоков одного и того же возраста позволило рассчитать скорость неотектонического поднятия вокруг озера - 0.05 мм/год и скорость опускания озерного дна - 0.5 мм/год. Это указывает на протекание активных тектонических процессов в Галилейском море и его обрамлении.

Литература

- Belitzky, S. and Ben-Avraham, Z. [2004] The morphotectonic pattern of Lake Kinneret. *Israel J. of Earth Sci.*, 53, 3, 121-130.
- Ben-Avraham, Z., Hänel, R., and Villinger, H. [1978] Heat flow through the Dead Sea rift. *Marine Geol.*, 28, 253-269.
- Ben-Avraham, Z., Shosham, Y., Klein, E., Michelson, H., and Serruya, C. [1980] Magnetic survey of Lake Kinneret - central Jordan Valley, Israel. *Marine Geophys. Res.* 4, 257-276.
- Ben-Avraham, Z., Ginzburg, A., and Yuval, Z. 1981. Seismic reflection and refraction investigation of Lake Kinneret - Central Jordan Valley, Israel. *Tectonophysics*, 80, 165-181.
- Ben-Avraham, Z., Shaliv, G., and Nur, A. [1986] Acoustic reflectivity and shallow sedimentary structure in the Sea of Galilee - Jordan Valley. *Marine Geol.*, 70, 175-189.
- Ben-Avraham, Z., Amit, G., Golan, A., and Begin, Z.B. [1990] The bathymetry of Lake Kinneret and its structural significance. *Isr. J. of Earth Sci.*, 39, 77-84.
- Ben-Avraham, Z., ten-Brink, U., Bell, R., and Reznikov, M. [1996] Gravity field over the Sea of Galilee: evidence for a composite basin along a transform fault. *J. of Geophys. Res.*, 101, 533-544.
- Ben-Gai, Y. and Reznikov, M. [1997] *Seismic multi-channel survey in Lake Kinneret*. Report No. 733/167/97, Geophysical Institute of Israel.
- Eppelbaum, L., Ben-Avraham, Z., and Katz, Y. [2004a] Integrated analysis of magnetic, paleomagnetic and K-Ar data in a tectonic complex region: an example from the Sea of Galilee. *Geoph. Research Lett.*, 31, 19, L19602.
- Eppelbaum, L., Ben-Avraham, Z., and Katz, Y. [2004b] Sea of Galilee: Comprehensive analysis of magnetic anomalies. *Israel J. of Earth Sci.*, 53, 3, 151-171.
- Eppelbaum, L.V. and Khesin, B.E. [2004] Advanced 3D modelling of gravity field unmasks reserves of a pyrite-polymetallic deposit: A case study from the Greater Caucasus. *First Break* 22, 11, 53-56.
- Flexer, A., Yellin-Dror, A., Kronfeld, J., Rozenthal, E., Ben-Avraham, Z., Artsztein, P., and Davidson, L. [2000] A Neogene salt body as the primary source of salinity in Lake Kinneret. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Avanc. Limnol.*, 55, 69-85.
- Freund, R., Garfunkel, Z., Zak, I., Goldberg, M., Weissbrod, T., and Derin, B. [1970] The shear along the Dead Sea Rift. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., Ser. A*, 267, 69-85.
- Garfunkel, Z., [1981] Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics. *Tectonophysics*, 80, 80-108.
- Garfunkel, Z., Zak, and Freund, R. [1981] Active faulting in the Dead Sea Rift. *Tectonophysics*, 80, 1-26.
- Ginzburg, A. and Ben-Avraham, Z. [1986] Structure of the Sea of Galilee Graben, Israel, from magnetic measurements. *Tectonophysics*, 126, 153-164.
- Goldman, M., Hurwitz, S., Gvirtzman, H., Rabinovich, B., and Rotstein, Y. [1996] Application of the marine time-domain electromagnetic method in lakes: The Sea of Gali-

- lee, Israel. *European J. of Environ. and Engin. Geophysics*, 1, 125-138.
- Guitton, A. and Claerbout, J. [2004] Interpolation of bathymetry data from the Sea of Galilee: A noise attenuation problem. *Geophysics*, 69, No. 2, 608-616.
- Hazan, N., Stein, M., Agnon, A., Marco, S. Nadel, D. Negendank, J.F.W., Schwab, M.J., and Neev, D. [2005] The late Quaternary history of Lake Kinneret (Sea of Galilee), Israel. *Quaternary Research*, 63, 60-77.
- Heimann, A. [1990] *The development of the Dead Sea Rift and its margins in northern Israel during the Pliocene and Pleistocene*. Ph. D. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem, 114 pp. (in Hebrew, summary in English).
- Heimann, A. and Braun, D. [2000] Quaternary stratigraphy of the Kinarot Basin, Dead Sea Transform, northeastern Israel. *Isr. J. of Earth Sci.*, 49, 31-44.
- Heimann, A., Steinitz, G., Mor, D., and Shaliv, G. [1996] The Cover Basalt Formation, its age and its regional and tectonic setting: Implications from K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Isr. J. of Earth Sci.*, 45, 55-71.
- Hurwitz, S., Garfunkel, Z., Ben-Gai, Y., Reznikov, M., Rotstein, Y., and Gvirtzman, H. [2002] The tectonic framework of a complex pull-apart basin: seismic reflection observations in the Sea of Galilee, Dead Sea transform. *Tectonophysics*, 359, 289-306.
- Khesin, B.E., Alexeyev, V.V., and Eppelbaum L.V. [1996] Interpretation of geophysical fields in complicated environments. Bookseries: *Modern Approaches in Geophysics*, Kluwer Academic Publishers.
- McDougall, I., Saemundsson, K., Johannesson, H., Watkins, N.D., and Kristjansson, L. [1977] Extension of the geomagnetic polarity time scale to 6.5 m.y.: K-Ar dating, geological and paleomagnetic study of a 3,500-m lava succession in western Iceland. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88, 1-15.
- Matmon, A., Enzel, Y., Zilberman, E., and Heimann, A. [1999] Late Pliocene and Pleistocene reversal of drianage systems in northern Israel: tectonic implications. *Geomorphology*, 28, 43-59.
- Nur, A. and Helsey, C.F. [1971] Palaeomagnetism of Tertiary and Recent lavas of Israel. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 10, 375-379.
- Reznikov, M., Ben-Avraham, Z., Garfunkel, Z., Gvirtzman, H., and Roitstein, Y. [2004] Structural and stratigraphic framework of Lake Kinneret. *Israel J. of Earth Sci.*, 53, 3, 131-149.
- Ron, H., Freund, R. Garfunkel, Z., and Nur, A. [1984] Block rotation by strike-slip faulting: structural and paleomagnetic evidence. *J. Geophys. Res.*, 89, 6256-6270.
- Rotstein, Y. and Bartov, Y. [1989] Seismic reflection across a continental transform: an example from a convergent segment of the Dead Sea rift. *J. of Geophys. Res.*, 94, 2902-2912.
- Rotstein, Y., Bartov, Y., and Freislander, U. [1992] Evidence for local shifting of the main fault and changes in the structural setting, Kinarot basin, Dead Sea transform. *Geology*, 20, 251-254.
- Shaliv, G. [1991] *Stages in the tectonics and volcanic history of the Neogene basin in the Lower Galilee and the valleys*. Ph.D. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem (in Hebrew, summary in English).
- Sneh, A., Bartov, Y., and Rozenshaft, M. [1998] *Geological Map of Israel, Scale 1:200,000*. Geol. Surv. of Israel, Min. of Nation. Infrastructure, Jerusalem.
- Weinstein, Y., Navon, O., Altherr, R., and Stein, M. [2006] The role of lithospheric mantle heterogeneity in the generation of Plio-Pleistocene alkali basalts suites from NW Harrat Ash Shaam (Israel). *Journal of Petrology*, 47, 5, 1017-1050.
- Zurieli, A. [2002] *Structure and neotectonics in Kinarot Valley based on high-resolution seismic reflection*. M. Sc. Thesis, Tel Aviv Univ. (in Hebrew, sum. in English), 92 pp.