

סיור מס' 1

הליטוטטרטיגרפיה ותופעות מינרלינציה בתצורת תמנע, בקעת תמנע

בחדרכת עמית שגב ומרים בר-מטיוס - המכון הגיאולוגי, ירושלים.

הסיור יתקיים בבקעת תמנע, אזור בו מצויה התשיפה הטובה והנרחבת ביותר של תצורת תמנע הבנויה מסלעי החדירה הימית הקמברית בארץ ישראל. במהלך הסיור יושם דגש על היחסים הליטופציאליים בפרט העליון של תצורת תמנע ועל הבצורים המתכתיים ותופעות מינרלינציה נוספות הנפוצים ביחידות הללו.

רקע, יחסים ליטופציאליים ומודל להוצרותם של סלעי פרט סגגון

עמית שגב

הסטרוטיגרפיה של תצורת תמנע

התצורה חולקה וכוונתה בשמות אחדים ע"י הגיאולוגים השונים שעבדו באזור. SEGEV (1984) המסתמך על המפוי הגיאולוגי של בקעת תמנע (SEGEV & BEYTH, 1983) ועבודת שדה מפורטת הציע לחלק את תצורת תמנע לשני פרטים: פרט תחתון - חכליל נשאר במתכונתו הקודמת, ופרט עליון - סגגון (ציור 1)*. המגע בין הפרטים הללו הועבר במהלך המיכוי לגג השכבה הסילטית פצלית של פרט חכליל, המשתרעת בכל בקעת תמנע. פרט סגגון חולק לשלושה ליטופציאס:

- א. הליטופציאס הדולומיטי - מקביל לפרט/תצורת נמרה בחלוקת הקודמות.
- ב. הליטופציאס החולי - מקביל לפרט/תצורת נחושתן (זברה).
- ג. הליטופציאס הפצלי - מקביל לפרט/תצורת מכנות.

מבנה

סכמה של מערכת ההעתקים הראשיים בבקעת תמנע מוצגת כבלוק דיאגרם בציור 2. המודל המוצע התקבל לאחר מפוי מפורט של בקעת תמנע (SEGEV AND BEYTH, 1983) גוש הר תמנע, במרכז הבקעה, יוצר את המדרגה הסטרוקטורלית הגבוהה ביותר כאשר צפונות-מערבית ממנו ודרומית-מזרחית לו מצויים גושים טקטוניים נמוכים יותר התחומים ע"י העתקים הפוכים. המנגנון המשוער לעליתו של גוש הר תמנע מבוסס על מאמצי דחיסה בכיוון צפון-צפון-מערב לדרום-דרום-מזרח שגרמו להעתקה הפוכה בניצב לאחרון. לאורך העתקים הפוכים אלה עלה הגוש של הר תמנע. שברי הסטה אופקית ימניים, בגוש שביר המדרגות, המלווים במבנים רומביים מעידים כנראה על סיבוב קל של גוש הר תמנע נגד כיוון השעון.

יחסים ליטופציאליים בפרט סגגון

היחסים בין הליטופציאס של פרט סגגון נידונו במודיפיקציות שונות בעבודות אחדות. חלק מהחוקרים החזיק בדעה שסלעי הליטופציאס הדולומיטי שקעו מעל פרט חכליל, לאחר מכן נחשפו ונגדעו חלקית ע"י ארוזיה; מאוחר יותר שקעו אבני החול המנגניות מהליטופציאס החולי על התבליט של הדולומיטים. הסבר אחר הציע שקיעה בו זמנית של הליטופציאס הדולומיטי והחולי זה בצד זה. ההסבר המוצע ליחסי השדה מבוסס על מנגנון אפיגנטי.

סכמה של היחסים הליטופציאליים מוצגת בציור 3 בו נראה הגיוון הרב באופיים של המגעים: לעיתים אבני החול המנגניות מצויות מעל הדולומיטים החוליים, לעיתים מתחת להם או בצידם. רליקטים של דולומיט חולי נפוצים בליטופציאס החולי ולחילופין ניתן למצוא מעין חדירות של אבני חול בתוך הליטופציאס הדולומיטי. במקומות בהם נטיית השכבות הדולומיטיות מתונה (10-0) מוצאים, סמוך למגעים, אבני חול נטויות בנויות חריפות של 45-90.

בליטופציאס הדולומיטי נפוצות סטרוקטורות סדימנטריות מקוריות כמו: ריבוד צולב וגלונים, כמו כן שכיחים סימני זחילות ונבירות. לעומת זאת בליטופציאס החולי בולט חטרונם של סטרוקטורות סדימנטריות מקוריות לעומת

* השרטוטים המתאימים לסיור מצורפים לטקסט באנגלית.

נפיצותן הרבה של ברקציות אינטרפורמציונליות, למינציה קטועה של תחמוצות מנגן, תופעות קימוט ושבירה.

במעשים בין הליתופציאס נפוצים מישורי החלקה מעוגלים שנוצרו כתוצאה מדחיסת סדימנט בלתי מלוכד והחלקת שכבות של סלעי החיפוי, הכוללים לעיתים גם את בסיס תצורת שחרת, על המגע עם דולומיט חולי קשה.

עובי הליתופציאס הדולומיטי בד"כ פי שניים עד פי ארבע מזה של הליתופציאס החולי ולמרות זאת הליתופציאס הפצלי המונח מעל שניהם שומר על עובי אחיד (כ-1.5 מ') כתוצאה מכך שכבת הפצלים ובסיס חצורת שחרת מצויים ברום טופוגרפי שונה במרחקים של עשרות מטרים בודדים. יחסים אלה לא ניתנים להסבר ע"י תהליכי סדימנטציה מקובלים, אלא ע"י תהליכים אפיגנטיים שגרמו להצטמצמות בעובי הליתופציאס החולי של פרט סגון. תהליך זה גרם לידידה דיפרנציאלית (קריסה והתמוטטות) של שכבות החיפוי.

חיזוק משמעותי למודל המוצע מהווה אופק מחתה של עדשות צור המוכר סמוך לגג הליתופציאס הדולומיטי והחולי. בראשון עדשות הצור אופקיות ורגולריות וסמוך למגע הן שבורות ובעלות נטיות חריפות במקביל לשכבות החוליות אל תוך הליתופציאס החולי (ציור 4). בתוך אבני החול עדשות הצור שבורות ומרוסקות. באתרים רבים, סמוך למעגים עוברים הדולומיטים החוליים דה-דולומיטיזציה אפיגנטית דיסקורדנטית המלווה בצביעה מנגנית שחורה. ניתן להצביע על קשר גנטי בין מערכות השבירה והסידוק בסלעי תצורת תמנע לבין המעגים והמעברים הליתופציאליים.

בנוסף ליחסי השדה נעשתה השוואה בין הליתופציאס הדולומיטי והחולי בעזרת כמה פרמטרים פטרוגרפיים בלתי תלויים; ההרכב הגרנולרי, כימי, פטרוגרפי, מינרלוגי וכן ההרכב האיזוטופי (Rb-Sr, K-Ar) של המקטע מ-2. מכלול הנתונים שהתקבלו בבדיקות אלה יחד עם יחסי השדה תומכים במודל אפיגנטי להסבר אופן הווצרותו של הליתופציאס החולי.

סיכום השלבים והתהליכים שיצרו את סלעי פרט סגון.

1. בתקופת הקמבריום התחתון הורבדו סלעי הליתופציאס הדולומיטי באגן רדוד סמוך ליבשה אליו נזקזו נהרות או נחלים שסיפקו כמויות ניכרות של חומר קלסטי טריגני ומים מתוקים (תכולת המרכיבים הטריגניים בדולומיטים מגוונת למדי - 80%-10).

הרכבם ואופיים של הסדימנטים ששקעו על תנאים סב-טידאליים עד אינטר-טידאליים בהם התפתחו מצעי אצות ופאונה בנטונית של ברכיפודים, סרטנים, ספוגים ואחרים שהשאירו סימני זחילה ונבירות. הסלעים הנפוצים ביותר הם GRAINSTONES ביחסים משתנים בין חלקיקים קרבונטיים לבין חלקיקים טריגניים שבהם נפוצים הקוורץ, פלדספרים אשלגניים וחרסיות. כמו כן נפוצות שכבות בעלות שיכוב דק ומסולסל ובהן רפאים של סטרומטוליטים. בבקעת תמנע עברו כל הסדימנטים דולומיטיזציה כנראה בשלב מוקדם. הרכב הדולומיטים מאופיין בתכולת מנגן גבוהה ביותר. המנגן מצוי בשריג הדולומיטי כ- 2.4% מתכולה ממוצעת של כ-1.2%. גם תכולת הנחושת בסלעים הדולומיטיים גבוהה מאד (0.06% C₄).

סמוך לבסיס הליתופציאס מצוי אופק עשיר בנחושת בעובי משתנה של מספר עשרות סנטימטרים, בד"כ כחצי מטר. אופק זה נמצא במרבית שטחה של בקעת תמנע במקומות בהם יש חשיפה טובה של בסיס הליתופציאס הדולומיטי.

המינרל העיקרי של הנחושת באופק הוא PARATACAMITE (C₄(OH)₃CO₃) המצוי בד"כ כלמינות דיקות בסלע דולומיטי, שכיחים גם עורקים דקים המקשרים בין מספר למינות. תכולת הנחושת הממוצעת שנמצאה באופק זה היא כ-0.7% C₄.

בסמוך לאופק זה נמצאו בדולומיטים תרכיזים קטנים (מילימטרים בודדים) של נחושת סולפידית כ-DJURLEITE (C₄(S) והמתבלה בשוליו ל-MALACHITE (C₄(CO₃)(OH)₃ PARATACAMITE-ו).

2. עם נסיגתו של הים הקמברי הופך המרכיב הטריגני הדק לשולט. ביטוי לכך הם הסילטים והפצלים שבגג פרט סגון.

3. לאחר נסיגת הים נקברים סלעי הליתופציאס הדולומיטי והפצלי תחת אבני חול קמבריות (תצורת שחרת), ברובן קונטיננטליות, ומעליהן חתך עבה של סלעי האורדוביק, סילור ודבון שנשמרו היום רק בעבר הירדן וערב. הסעודית

- (ויסברוד, 1981).
4. בהסתמך על קביעות גיל בשיטת K-Ar ו-Rb-Sr נמצא שבסוף הדבון (4 ± 374 מ.ש.) עוברים הסלעים הקמבריים הללו ארוע. תרמלי שכתוצאה ממנו חל כינון מחדש של המערכות האיזוטופיות הללו באיזיטום 22 (שגב ואחרים, 1985). לא נמצאה, בשלב זה, השפעה של ארוע זה על המינרלים הקרבונטיים.
 5. בתקופה מאוחרת יותר מ-374 מ.ש. החלה פעילות טקטונית אינטנסיבית שכתוצאה ממנה נשברו ונסדקו סלעי הליתופציאס הדולומיטי בצפיפות רבה. לאורך מישורי החולשה שהתפתחו החלו תהליכים של דה-דולומיטיזציה והמסת המרכיבים הקרבונטיים ע"י תמיסות חמות במקצת. תהליך אפיגנטי זה גרם לאבדי נפח ניכרים של סלעי הליתופציאס הדולומיטי וכתוצאה מכך להצטמצמות מה שמכונה היום הליתופציאס החולי ולדחיסה ושקיעת סלעי החיפוי. ניתן לכנות ארוע זה כארוע קרטיפי קציה.
- החומר השאריתי שנותר לאחר המסת הקרבונטיים הן אבני חול וסילטים מלוכדים ע"י חרסיות ובד"כ גם תחמוצות מנגן. חומר זה לאחר הופכו לסלע הוא הבונה את הליתופציאס החולי. גילו של הארוע צעיר מ-276 מ.ש. (גיל K-Ar הצעיר ביותר של חומר 22 מהליתופציאס החולי). אין עדיין מספיק נתונים שיאפשרו את הצבתו המדויקת בזמן, אך עד כה ידוע:
- א. היה באזור ארוע מגמתי בתקופת הקרטיקון התחתון בו חדר פלג בזלתי את סלעי תצורת תמנע מזרחית להר מכרות (BEYTH & SEGEV, 1983). גיל K-Ar של הבזלת הוא כ-100 מ.ש.
 - ב. הפעילות הטקטונית החזקה ביותר הידועה באזור קשורה להווצרות בקע ים-המלח והערבה, החלה מהמיוקן וכפי שצויין מקודם יש קשר גנטי בין המעברים הליתופציאליים לבין מערכות השבירה והסידוק עובדה היכולה לקשור את הפעילות האפיגנטית עם התפתחות בקע ים-המלח והערבה.
 - ג. התקבלו מספר גילים טרציאריים בבדיקות K-Ar של מינרלי בצר נחושת
6. תופעות המינרליזציה של הנחושת, המנגן ויסודות נוספים קשורות גם הן לתהליכים האפיגנטיים שהוזכרו. מרבית היסודות המועשרים בליתופציאס החולי, שהחשובים בהם: U, P, Mn, Ca, מצויים בערכים אנומליים גבוהים גם בסלעי הליתופציאס הדולומיטי. התהליכים האפיגנטיים גרמו לר-מוביליזציה והעשרה משנית של מרבית היסודות הללו.
- תופעות של המסה, ר-מוביליזציה והשקעת נחושת מוכרות אף בהווה באזור בקעת תמנע (לזר, 1982).

מינרליזציה של מנגן, פוספט ואורניום

מרים בר - מטיוס

- המאסף של בצר המנגן, סלעי הפוספט והאורניום הוא מאסף שהתפתח במספר שלבים (שאת שלושתם ניתן לאתר בשטח).
1. שקיעה סינגנטית של המאסף לעיל בסביבה לגונרית אליה נוקזו עונתית מי נהרות שנשאו עמם מרכיבים קלטיים ויסודות נחושת, מנגן, זרחן ואורניום. הבצר המשוכב שבו למינות מנגניות ופוספטיות מתחלפות לסירוגין עם למינות דשריטיות ולמינות נושאות בצר נחושת, הוא תוצאה של שקיעה סינגנטית. אורניום נספח למינרלי המנגן והפוספט.
 2. בתהליכים הדיאגנטיים שקעו מתוך המים הבינחלליים נודולות מנגן עשירות אורניום (נודולות מנגן מקבוצה א') ועדשות פוספוריט עשירות אורניום. אורניום נספח לפני השטח או לתוך השריג של מינרלי המנגן והפוספט.
 3. בתהליכים האפיגנטיים הומסו סלעי הסביבה והומס המאסף לעיל וכתוצאה מכך שקע בצר מנגן וסלעי פוספט דלי אורניום. במקומות בודדים נמצאו מפוזרים מינרלי אורניום משניים עצמאיים שגילם הוגדר כצעיר ממליון שנה.
- את בצר המנגן, סלעי הפוספט והאורניום ניתן לחלק ל-2 טפסי מאספים: מאסף מטפוס א' שהוא סינגנטי ודיאגנטי ומאסף מטפוס ב' שהוא אפיגנטי. התכונות המאפיינות מאספים אלה מסוכמות בטבלה להלן ובציוורים 5-8.

מאסף מטפוס א'	מאסף מטפוס ב'
מרכיבי המאסף	
1) מנגן מפוזר בדולומיט בעיקרו קשור לשריג הדולומיט.	1) בצר מנגן המופיע בעורקים, כדנדריטים, כממלא חללים וכקרומים
2) בצר מנגן משוכב המרכב מלמינות מנגן ופוספט המצויות בליתופציאס הפצלי והחולי (פרטים נחושתן ומכרות).	2) נודולות מנגן מקבוצה ב' שנוצרו בתהליכי החלפה והן דלות באורניום. המבנה הפנימי שלהן מתואר בציור 8
3) נודולות מנגן מקבוצה א', עשירות אורניום. הן מרוכזות באזור הר מכרות בלבד בליתופציאס החולי והפצלי. (המבנה הפנימי שלהן ודרך פזור האורניום בהן מוצג בציור 6).	3) עורקי אפטיט, אפטיט כצמנט וגבישי אפטיט אוטיגניים הקסגונליים.
4) עדשות פוספוריט עשירות אורניום המחולקות לעדשות מיקרשיות ופלטליות (ציור 7)	4) עורקים המכילים קלציט, בריט, מינרלי נחושת מחומצנים, המטיט כלקדון, גבס, הלית, סלסטין, מוטרמיט (OH) (VO ₄) P ₆ (Zn, Cu) זיפאיט (3UO ₃ ·2S ₂ ·9H ₂ O), גבישי קורן ופלדספט אוטיגניים.

מקום סטרטיגרפי ודרך הופעה
ציור 5

המאסף מופיע רק בתצורת תמנע' ובעיקר בליתופציאס החולי והפצלי והוא תואם לשיכוב. סלעי המאסף חותכים את סלעי המסיב הפריקמברי עד לתצורת שחורת ודרך כל סלעי תצורת תמנע.

מינרלים עיקריים

מינרלי המנגן והפוספט בבצר המשוכב: קריפטומלן (K₂Mn₂O₁₆) ופלוואור אפטיט בהתאמה. בנודולות מטפוס א': פירולוזיט (MnO₂) והולנדיט (Ba₁₋₂Mn₂O₁₆) בעדשות הפוספוריט: פלוואור אפטיט קריפטוקריסטליני מגובש היטב וגבישי פלוואור אפטיט הקסגונליים עד 50א גודל.

מינרלי המנגן מטפוס ב': בנודולות מטפוס ב' בעורקים מינרלי המנגן בנודולות מטפוס ב' ובדנדריטים הם: קורונדיט (P₂M₂O₁₆), ותמיסה מוצקה בין הולנדיט וקורונדיט. מינרל הפוספט בעורקי האפטיט הוא פלוואוראפטיט.

סימני החלפה

יש : אין

רכושי מנגן וזרחן

רכושי המנגן (Mn) ותחמוצות הזרחן בבצר המשוכב הם: 2-4% ו-3.5-6% בהתאמה. רכושי המנגן הממוצע בנודולות המנגן מקבוצה א' הוא 47% (Mn). רכושי תחמוצת הזרחן בעדשות הפוספוריט הוא 10-35%.

אורניום

רכוז האורניום בבצר המשוכב 30-100 PPM : רכוז האורניום בנודולות המנגן
רכוז האורניום בנודולות המנגן מקבוצה : מקבוצה ב' הוא 0-250 PPM
א' הוא 250-2000 PPM : בעורקי מנגן 0-30 PPM
בעדשות הפוספוריט : 250-5000 PPM : בעורקי אפטיט : 30-250 PPM

דרך הופעת האורניום

בכל המרכיבים אורניום איננו יוצר : לפעמים נמצאים באופן אקראי מינרלים
מינרלים עצמאיים אלא עוקב אחרי : עצמאיים ומשניים של אורניום.
מינרלי המנגן והפוספט :
בנודולות המנגן מקבוצה א' האורניום :
עוקב אחרי הלמינציה אך מתרכז בעיקר :
בפירולוזיט (ציור 6). בעדשות הפוספוריט :
עוקב האורניום אחר מבנה האפטיט :

עדויות איזוטופיות למקור הבצר

העדויות תומכות במקור סדימנטרי-קמברי : העדויות תומכות ביצירה אפיגנטית או
הידרותרמלית. הגיל לא ידוע אך יש :
עדויות להמסה ושקיעה רצנטית של מנרלי :
מנגן ואורניום.

תאור המסלול

תחנה 1 - הכביש לעמודי שלמה.
תצפית על החתך הסטרטיגרפי בבקעת תמנע החל מתצורת עמודי שלמה הרבודה על
סלעי התשתית הפרהקמבריים, תצורות תמנע, שחורת, אמיר, חתירה וחצרה (ציור
1).

תחנה 2 - אזור שברי המדרגות.
תצפית וביחנה מקרוב של מרכיבי פרט סגון והיחסים ביניהם (ציור 4).
תופעות מיוחדות :
א. היחסים הטרלליים ואופי המגעים בין הליתופציאס הדולמיטי והחולי.
ב. בחינת האופק המנחה של עדשות הצור בליתופציאס הדולומיטי והחולי
ובמעברים ביניהם.
ג. מבט על ההפרעה בליתופציאס הפצלי.
ד. מינרליזציה אפיגנטית של תחמוצות ברזל ונודולות מנגן (מקבוצה ב') דלות
אורניום הממוקמות בליתופציאס החולי והפצלי.
התבוננות במרכיבי פרט חכליל ותצפית ממערב למזרח על המבנה של בקעת תמנע
המאופיין בגוש השקטוני הגבוה של הר תמנע במרכז הבקע והשברים שבסוליו.
תחנה 3 - צפון הר מכרות.

במקום זה חשוף היטב מגע בין הליתופציאס הדולומיטי והחולי. כאן נראה את
הליתופציאס החולי מונח לטרלית וגם מתחת לליתופציאס הדולומיטי. כמו כן
נראה באתר זה תופעות של דה-דולומיטיזציה, המסה של דולומיטים ורליקטים של
דה-דולומיטים בתוך אבני החול.
במקום זה נחפרו מספר תעלות פרוספקציה בהן ניגלה המגע המופרע בין
הליתופציאס הדולומיטי, החולי והפצלי המלווה בקימוט ותופעות מינרליזציה.
באתר זה נחשפים סלעי המאסף מטפוס א' לצד סלעי המאסף מטפוס ב' (ציור 5).
נתבונן בבצר המשוכב שבליתופציאס החולי והפצלי. נלמד להכיר את החבדל בין
שני טיפוסים המאסף בעדה באמצעות מונה הרגיש לקרינת גמא טבעית. נראא את
עדשות הפוספוריט (ציור 7) ואת נודולות המנגן מקבוצה א'. העשירות
באורניום.

נראה את 2 טפוסים הנודולות זה ליד זה (ציורים 8,6), וכן את נודולות המנגן מקבוצה ב' ודנדריטים של מנגן בתוך עדשות פוספוריט ובתוך סלעי הדולומיט.

נמצא שכבת קרום הבנויה מגבישי קורן אדיומורפיים אוטיגניים.

תחנה 4 - מזרח הר מכרות.

פלוג בולתי קטן מגיל קרטיקון תחתון (גיל K-Ar) חדר בתוך סלעי הליתופציאס החולי והפצלי של יצורת תמנע.

תחנה 5 - סמוך לשער מפעל הנחושת בתמנע.

מחשוף מבודד של הליתופציאס הדולומיטי באזור הבנוי בעיקר ע"י סלעי הליתופציאס החולי. בחלקה התחתון של היחידה הדולומיטית נראה אופק המכיל את מינרליציית הנחושת שרובה למינות של PARATACAMITE. כמו כן נראה את תרכיזי סולפידי הנחושת בדולומיט.

תחנה 6 - מכרה פתוח "G"

ניכנס לאחד מבורות הכרייה הרבים של מפעל הנחושת בתמנע ונבחון מחשוף טרי של בצר הנחושת בליתופציאס החולי והפצלי. באתר זה נראות יפה הסטרוקטורות המיוחדות לסלעים האלה ובמיוחד הלמינות הפוספטיות והלמינות של תחמוצות המנגן.

במקום זה נכיר את עדשות הפוספוריט באמצעות מונה הרגיש לקרינת גמא טבעית ואת הופעתן יחד עם בצר הנחושת. נראה כי עדשות הפוספוריט מופיעות יחד עם בצר הנחושת אך האורניום קשור רק לעדשות הפוספוריט ואינו קשור לבצר הנחושת. כמו כן נראה את הבצר המשוכב בליתופציאס הפצלי והחולי

מקורות

בר-מטיוס, מ., 1984, מינרליזציה של אורניום בבצר המנגן ועדשות הפוספט בתצורת תמנע, בקעת תמנע. חלק א' - אורניום ובצר המנגן. דו"ח הפרויקט לחפושי אורניום צ.ד. 85/84.

ויסברוד, ט., 1980 - הפליאוזואיקון בישראל ובארצות הסמוכות. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 276 עמ'.

לזר, ב., 1982 - מחקרים גיאוכימיים של מתכות כבדות במים טבעיים ע"י וולטמטריית המסה אנודית (ASV). חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 185 ע'.

שגב, ע., שטייניץ, ג., פלצנר, י., סטרינסקי, א., 1985, ארוע תרמי מגיל דבון עליון בדרום ישראל על סמך גילי K-Ar ו-Rf-Sr באיליטים <2> מסלעים קמבריים. כנס החברה הגיאולוגית הישראלית, (כרך זה).

Bar-Matthews, M., 1983a. Mineralization of uranium in Timna Formation, Timna Valley. Geol. Soc. Israel, Annual Meeting, pp. 6-7 (abst).

Bar-Matthews, m., 1983b. Coprecipitation of uranium and manganese in the Cambrian Timna Basin, Israel. Geol. Soc. Amer. Annual Meeting, abstracts with programs, vol. 15, p. 521.

Bar-Matthews, M., 1984a. Genesis of uranium-bearing manganese ore in the Timna Fm., Timna Valley. Geol. Soc. Israel, Annual Meeting, pp. 14-15 (abst).

Beyth, M., and Segev, A., 1983. Lower Cretaceous basaltic plug in the Timna Valley. Isr. J. Earth Sci. Vol. 32, pp. 165-166.

Segev, A. and Beyth, M., 1983- Preliminary report on the geology of the Timna Valley and its radioactive mineralization. Isr. Geol. Surv. Rep., No. ME/1/83, 36 p.

Segev, A., 1984. Lithostratigraphy and paleogeography of the marine Cambrian sequence in southern Israel and southwestern Jordan. Isr. J. Earth Sci. Vol. 33, pp. 26-33.

EXCURSION 2
PALEOMORPHOLOGY AND MORPHOTECTONICS
ALONG THE SOUTHERN ARAVA VALLEY

Ran Gerson and Sari Grossman
The Hebrew University, Jerusalem

ABSTRACT

The southern Dead Sea Rift is composed of hundreds of structures, each having a different/separate geomorphic history. Phases of rift bottom lowering were studied by using scarps, straths and pedimented surfaces, to document past periods of tectonism and quiescence. For example, eight such phases were identified in the Timna Valley in the southern Negev. This is a minimal number, because periods of continuous activity, degradation of multiple scarps and lack of preservation of scarps due to lithologic and topographic conditions, preclude the possibility of identifying additional phases. Rock-cut surfaces truncate various lithologic units and different structures. The picture is probably more complex due to block faulting of unknown age around Mount Timna.

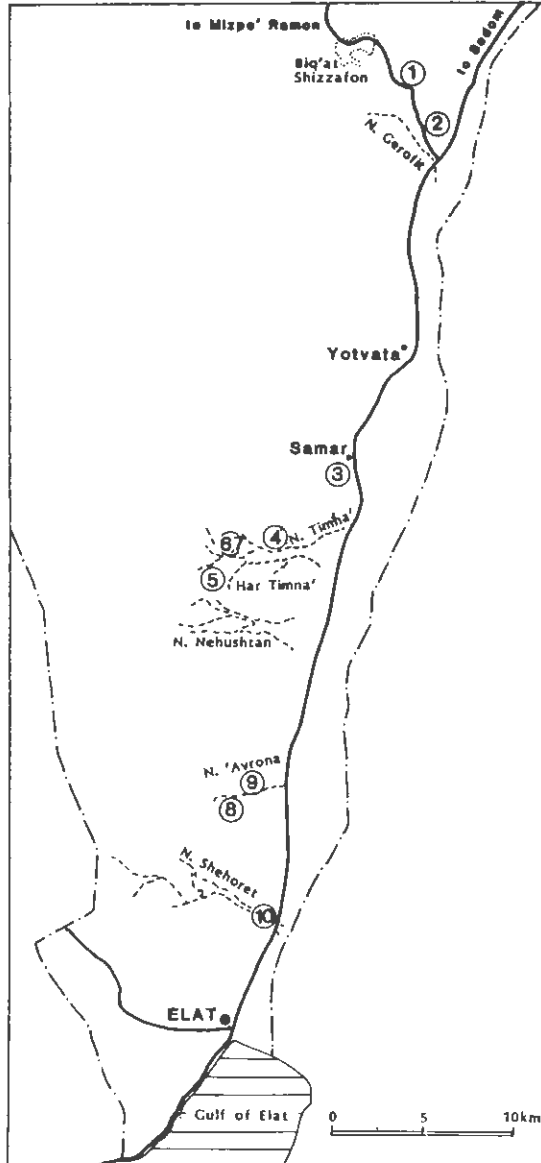
Faults and lineaments in alluvium are related to later stages of rift activity. The fault scarps were degraded rather rapidly. The distance of their recession is very short compared with the older fault scarps carved in hard bedrock. The short distance of recession is also related to the lower initial relief - usually 2 - 6 m. It is possible that many of the scarps have formed during individual (single) events or several events very close in time. Slope profiles as well as incised gully profiles are used to assess recurrent stages of faulting. The dating of faults is based on pedogenic evolution of Reg soils on the faulted surfaces the slope profile and gradients of the fault scarps. angle of slope of most Holocene scarps is usually steeper than 23° , whereas older scarps are gentler than 20° of slope; usually they range between 12° and 18° . Faulting along the Gulf of Elat has cut alluvial surfaces of late Holocene and younger ages, whereas faults along the Arava Valley appear to be of early Holocene and earlier ages. Is the Arava Rift a seismic gap at present ?

An analysis of fault patterns and their ages in the Elat-shehoret area leads to several conclusions: (a) The mountain fronts are non-active for a long period of time - several 10^5 yrs or more. (b) The faults in alluvium are rather distant from the mountain fronts. (c) Many of the older faults in alluvium trend NNW, with the down thrown blocks to their west. (d) Most of the younger faults trend N-NNE, with the down thrown blocks to their east. (e) Faulting generally progressed eastward with time.

Changes in drainage along the rift shoulders accompany rifting. One example is the Ma'ale Grofit area. Reconstruction of the pre/syn-rifting drainage patterns is based on several indicators: (a) Wide saddles, often filled with fluvial gravel, across present-day divide belts. (b) Presence of valley fill high above present flood plains. (c) Anomalous patterns of drainage nets, such as tributary junctions opposite to flow direction of the trunk streams, or streams flowing west and turning sharply east. There are several instances of impeded drainage and playas in divide zones and further downstream. (d) Overfit valleys draining small catchment areas and containing very narrow and shallow stream channels. The gradients of these streams is very gentle. In the past, these valleys drained large watersheds now buried under the rift bottom fill. (e) Allocthonous sediments and change of particle size - from coarse gravel to fine sediments - related to changes in discharge as well as in stream power.

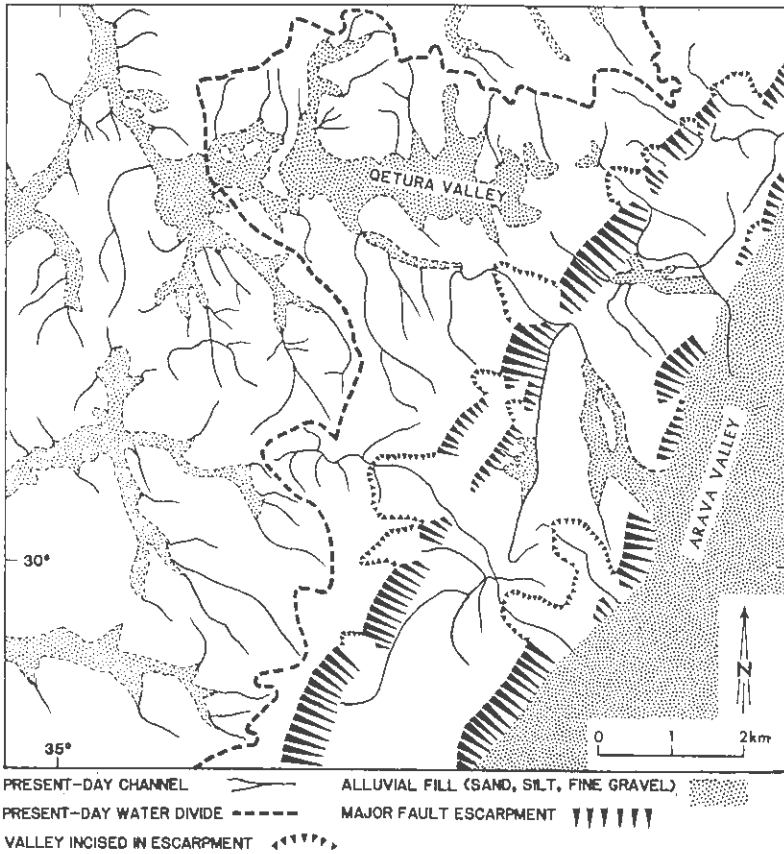
Two modes of escarpment retreat are characteristic of arid regions: (a) Under moderately arid to semi-arid conditions, continuous talus aprons are formed, maintained and recede due to debris flow and wash. (b) Under arid to extremely arid conditions, erosion, wash and gullying predominate; talus stripping is relatively fast. Sequences of "flatiron"-like talus relicts found in hot deserts under various lithostructural conditions may reflect major climatic changes - lengthy pluvial periods and rather short interpluvial ones. Rates of scarp retreat, through repeated cycles, are estimated to range from 10 to 60 m/ 10^5 yrs, depending on relief and lithostructure of any given environment. Changes in flood plains fit the model: (a) Debris flow and fluvial deposits over wide braided bajadas during pluvial periods and (b) Fluvial deposits with scant debris flow sediments, along linear incised flood plains, under interpluvial climates. Longitudinal profiles of talus-bajada sequences converge downstream due to climatic controlled progression. Talus slopes, with low sensitivity to environmental change, reflect mainly major climatic fluctuations.

Location map

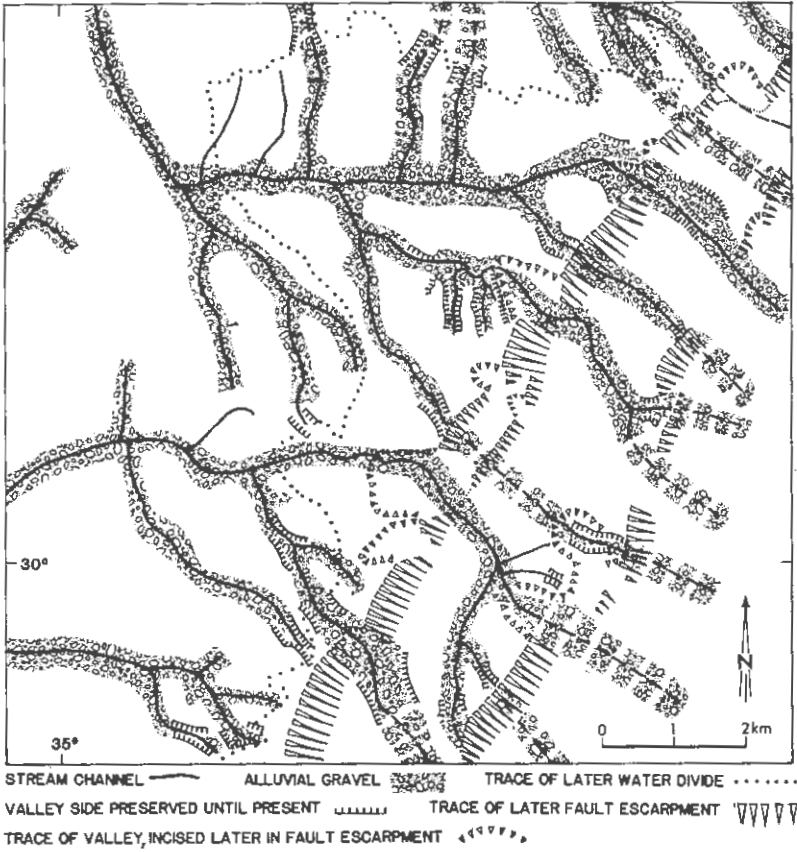


STOP 1: The effects of rifting & faulting on fluvial systems in the Ma'ale Grofit area:

A. Present-day configuration,



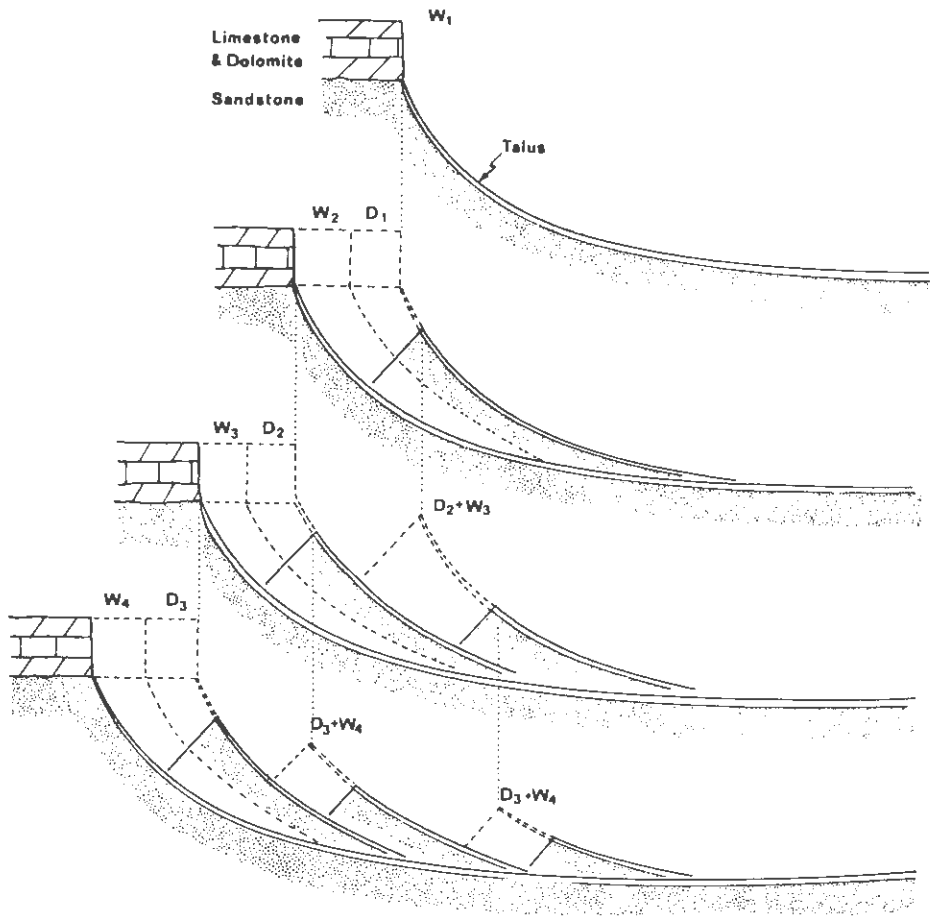
B. Suggested reconstruction of pre-rifting configuration.



STOP 2: Calcic paleosol of Nahal Grofit

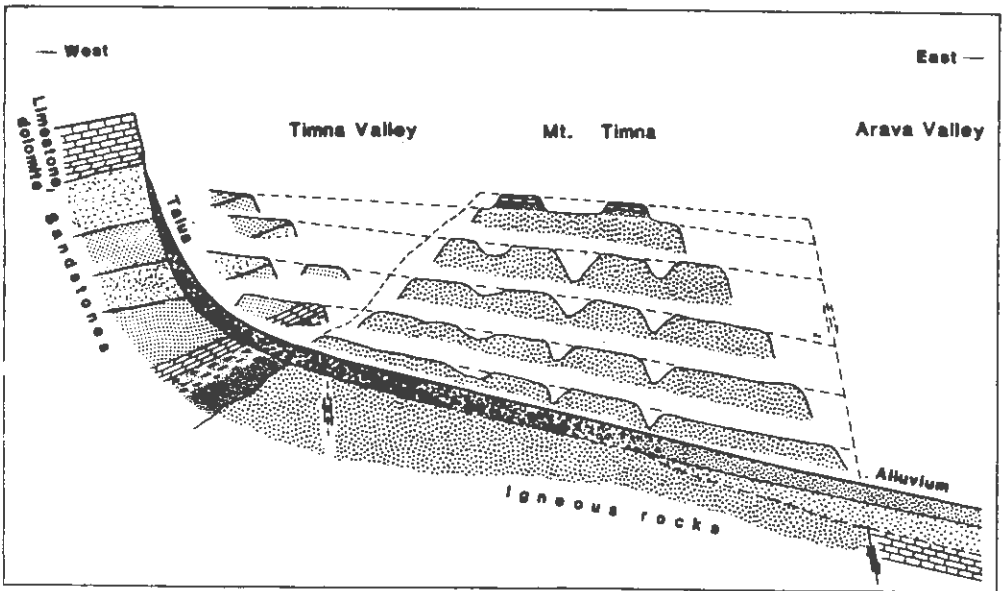
STOP 3: The evolution of a sequence of talus "flatirons".

W- pluvial regime D-interpluvial regime.

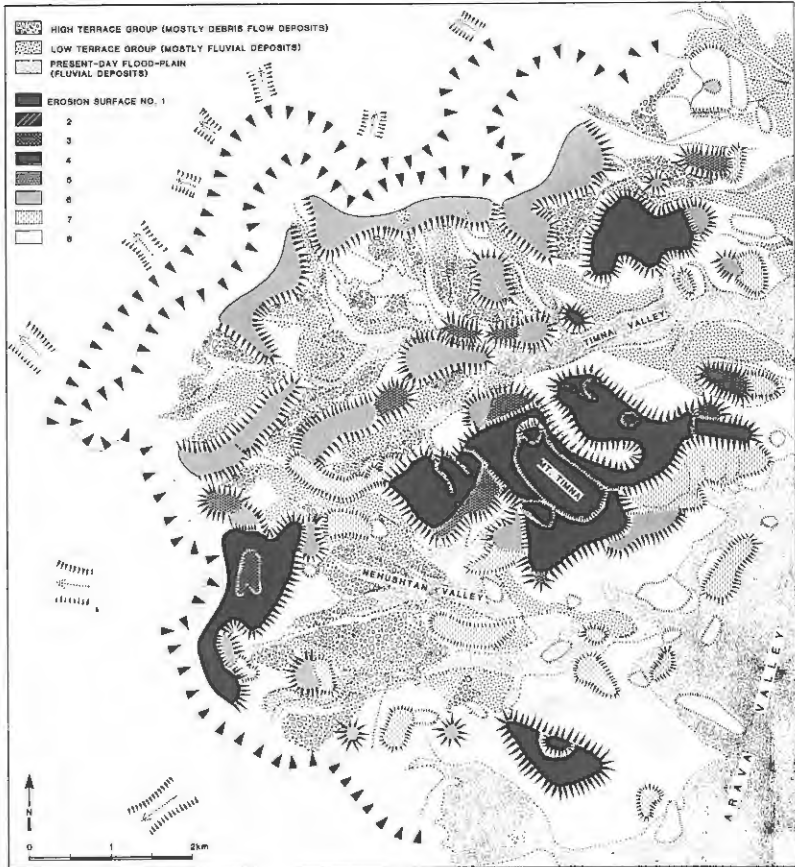


STOP 4: Formation of rock-cut surfaces at the margins of the Arava Rift-Timna Valley & Mount Timna

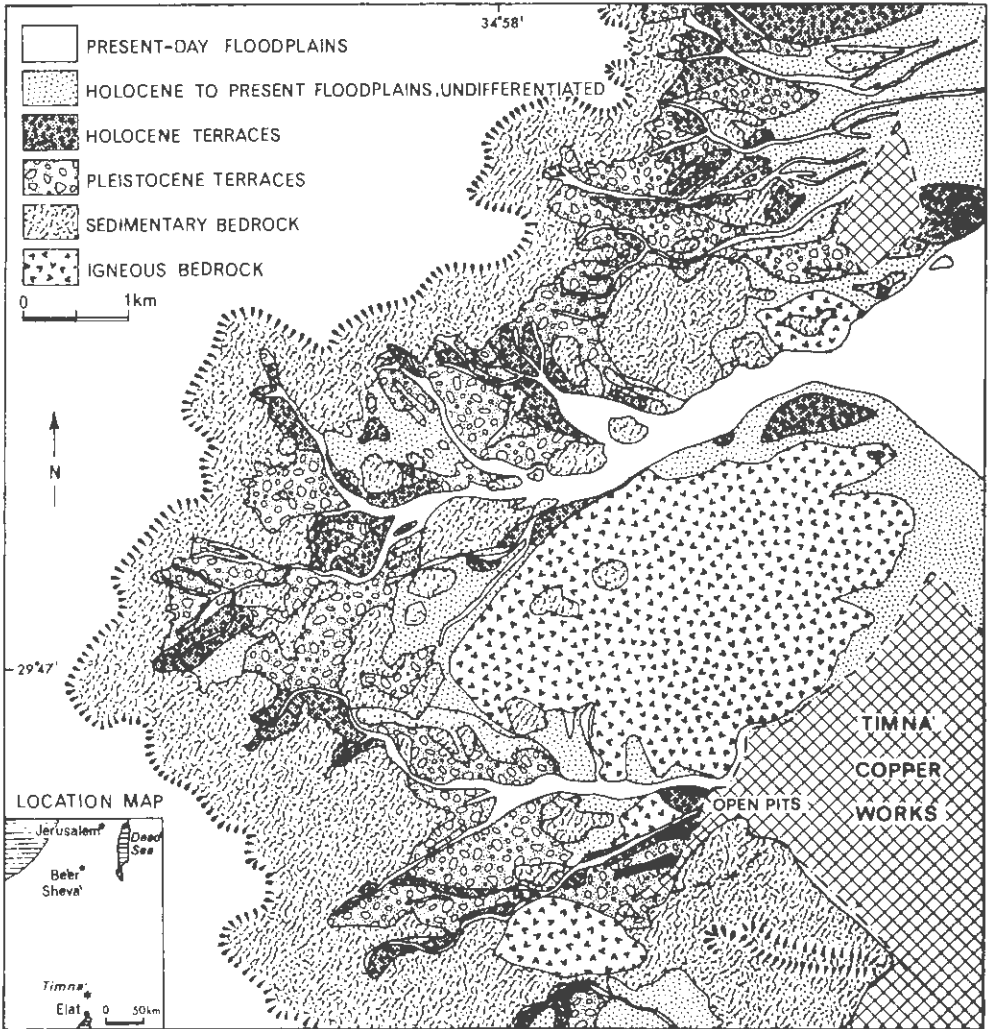
STOP 4:A. A Schematic cross section illustrating the geomorphic expression of periods of tectonism & stability.



STOP 4:B. A map of planation surfaces .



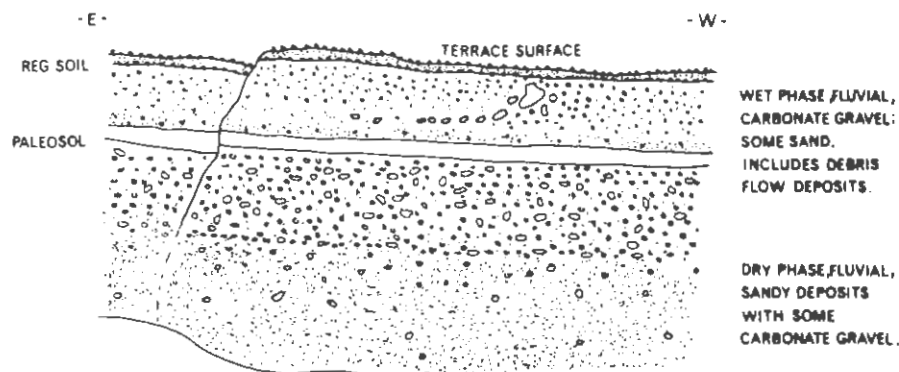
STOP 5: A. Transition from bajada depositional regime (Pleistocene terrace group) to linear floodplain activity (Holocene terrace group) in Timna & Nehushtan Valleys.



**STOP 5:B. A Reg Soil profile on a Pleistocene alluvial surface,
Timna Valley.**

	depth, cm	
A ₀		Desert pavement, covers 100% of the surface; pebbles - average of 3 - 5cm in diameter.
A _v	0 - 2	Vesicular layer; reddish yellow 7.5 YR6/6 dry, strong brown 7.5YR5/8 wet; abrupt boundary.
B ₁	2 - 20	Silty, gravel free horizon; petrogypsic horizon; pink 7.5YR7/4 dry, strong brown 7.5YR5/8 wet.
B ₂	20 - 60	Shattered pebbles with rounded gypsum crystals; reddish yellow 5YR6/6 dry, yellowish red 5YR5/6 wet.
C ₁	60 - 90	Rounded pebbles; gypsum nodules; loose; light reddish brown 5YR6/4 dry, yellowish red 5YR5/8 wet.
C ₂	90 - 110	Gravel, some shattered; very loose; some nodules; reddish yellow 7.5YR6/8 dry, strong brown 7.5YR5/8 wet.

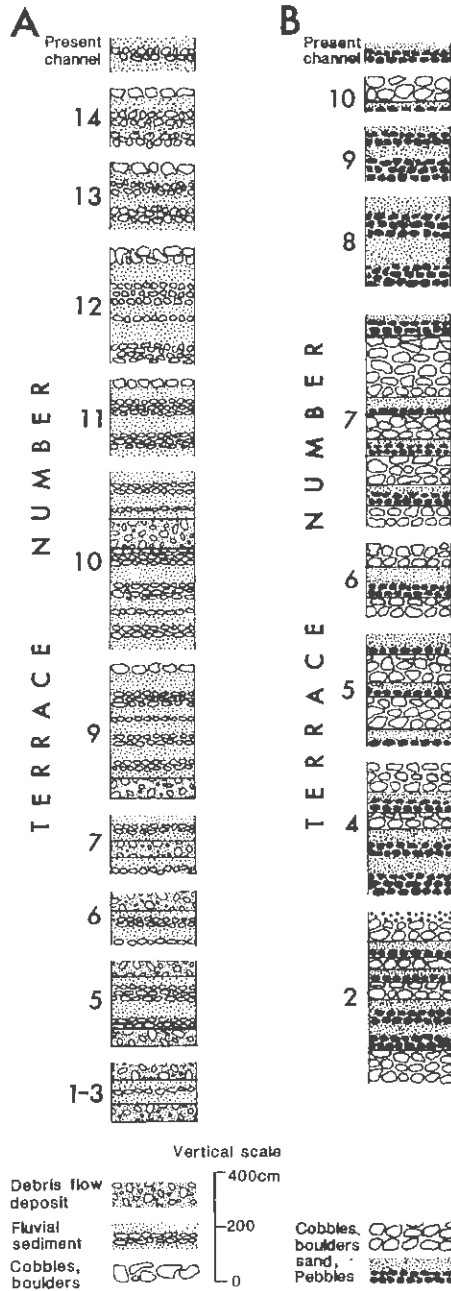
**STOP 6: C. Alluvial deposits of a high terrace in the Negev Valley
(open mine G).**



**STOP 7: A. A Reg Soil profile on a Holocene alluvial surface,
Timna Valley.**

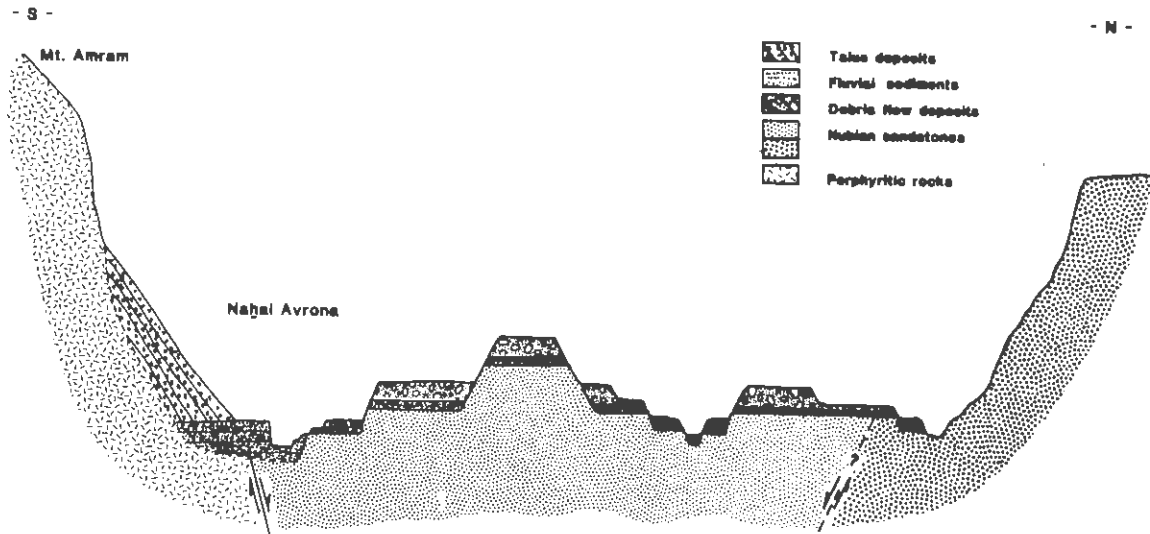
Reg Soil, Holocene		Southern Negev - Timna Valley	
	depth, cm		
A ₀	0 - 2	Desert pavement mixed with fines; bar and swale pattern.	
A _v	2 - 3.5	Silty; vesicular layer; light brown 7.5 YR6.5/4.	
B	3.5 - 6	Silty; yellowish red 5YR4.5/6.	
C ₁	6 - 9	Fines with some small pebbles.	
C ₂₁	9 - 14	Shattered small pebbles.	
C ₂₂	14 - 40	Pebbles with fines; well sorted.	

STOP 6: Generalized composite sections in the alluvial deposits of Timna Valley(A) and, for comparison, Wadi Khuweit, eastern Sinai(B).



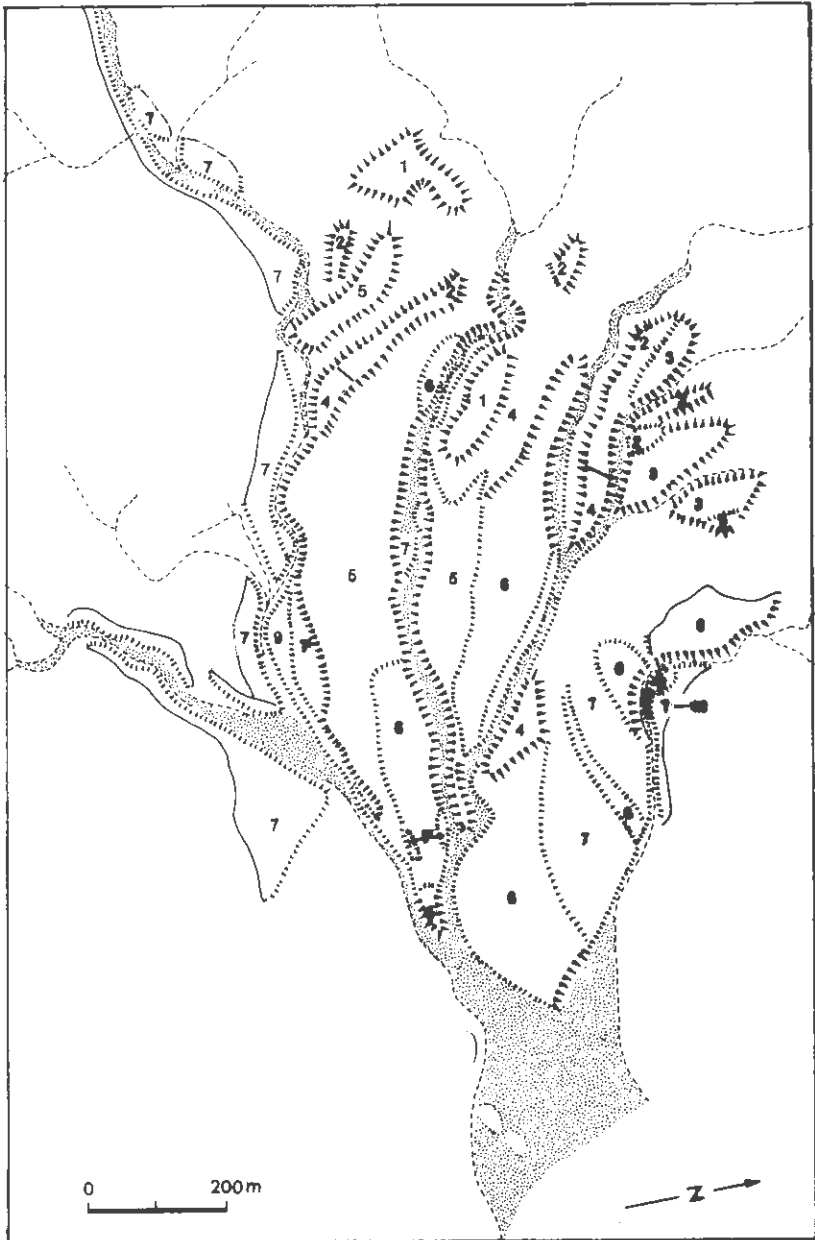
STOP 8: Alluvial & colluvial Holocene deposits of Naḥal Avrona.

STOP 9: A. A schematic cross section through the alluvial terraces of Naḥal Avrona



STOP 9: B. A map of the alluvial terraces of Nahal Avrona.

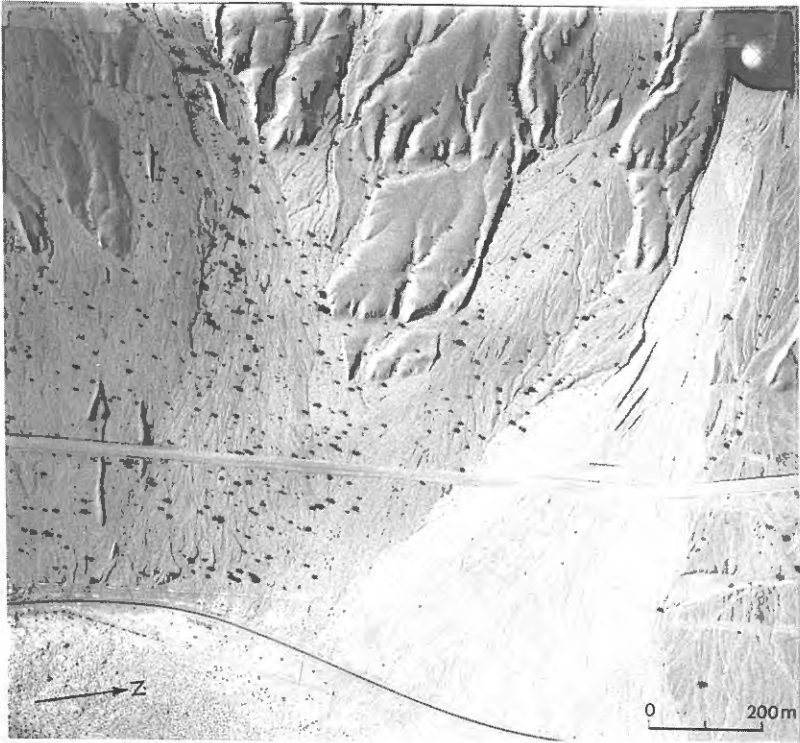
(Terrace designation is provisional)



STOP 9: C. Stages in the evolution of a talus slope in Mount Amram.

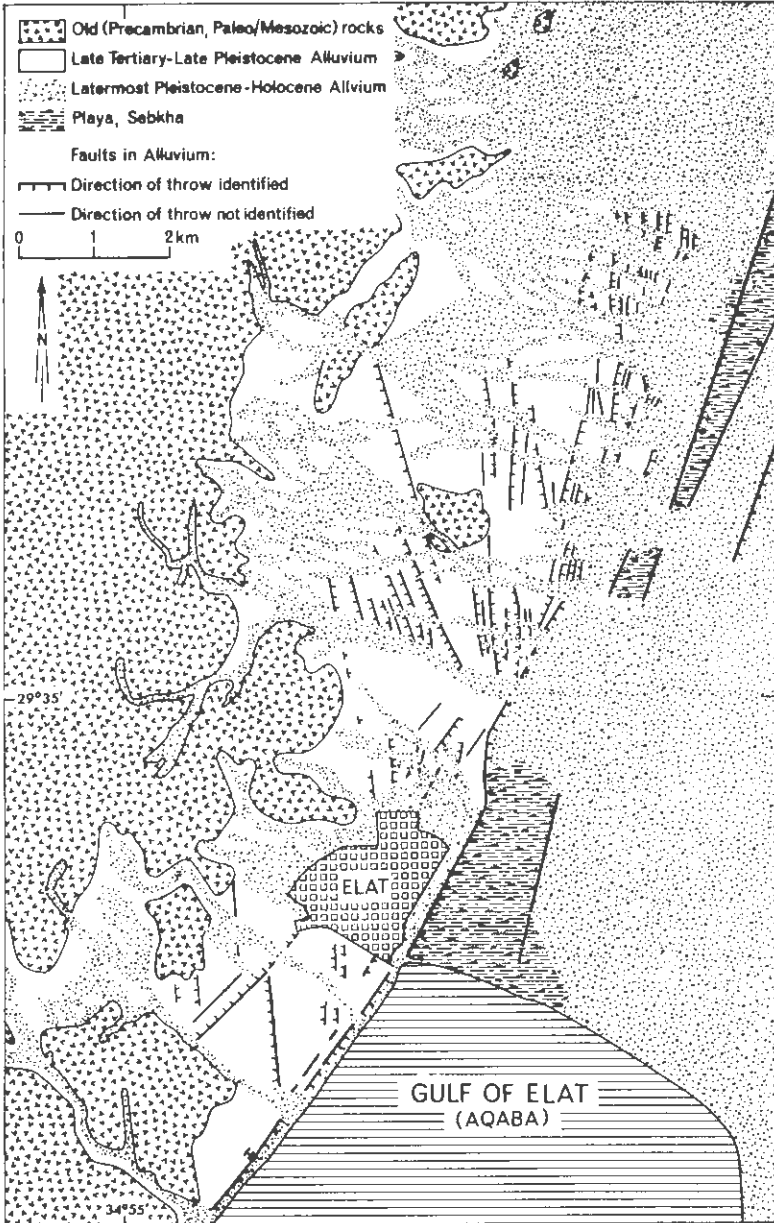


**STOP 10: A. Late(?) Pleistocene & Holocene faults of fan-terraces
of Nahal Sheḥoret, north of Eilat**



STOP 10: B. Quaternary faults of alluvial surfaces in the southern Arava Valley.

(The slightly thicker lines in the eastern portion of the map represent faults mapped by Garfunkel, 1970)



סיוור מס' 3

רכס מנוחה וגרובן כרכום.
ע. סקל, ז. ברטוב וצ. גרפונקל.

הגיאולוגיה של רכס מנוחה.
עמנואל סקל.

1. הסטרוקטורה.

רכס מנוחה הוא אנטיקלינוריום שבזר (ציור 1)* הבולט מתוך סינקלינוריום החיון, ומורכב מכמה מבנים שוני גיל וכוון (ציור 2).

א. מבנים ראשיים.

1. אנטיקלינת וסינקלינת הפארן. כיוון NBOE.

2. אנטיקלינת וסינקלינת עשת, כיוון המשתנה מ-N90E ל-N45E.

ב. מבנים משניים.

1. אנטיקלינת וסינקלינת הר סלעית מדרום לציר פארן. שינוי כוון הדרגתי מ-

S80W ל-S45W.

2. מבנה רכס ציחור, שינויי כוון כנ"ל.

3. מבני גבעות פארן, מקבילים לציר הפארן, ומתרחקים ל-N45-E.

4. מבני הרי רובד בכוון SE - NW.

5. מבני גבעות קדם בכוון כללי SW - NE.

ג. שברים ראשיים.

1. שבר הפארן הוא שבר הפוך, שמישורו נטוי לדרום בעומק. הגוש הצפוני מורד ביחס לדרומי בזריקה מקסימלית של 655 מ' במצפה פארן. עדויות ראשוניות לפעילותו הממשית בסנטון העליון.

2. שבר עשת הוא שבר נורמלי, שזריקתו מגיעה למקסימום של 420 מ' בכפת עשת. השבר נוצר מאוחר בפליו-פליסטוקן בתקופת שתרור לחץ ותחילת מתח. יתכן שבתקופה זו פעל גם שבר הפארן כנורמלי. בשבר עשת ניכר מרכיב דכסטרולי קטן.

ד. שברים משניים.

1. שברי מישור החרוט. קבוצת שברי STRIKE SLIP סיניסטרליים נצבים לאנטיקלינות ושבר הפארן. במקביל להם "דייקים" בעובי עד 3 מ' של קלציט

* השרטוטים המתאימים לסיור מצורפים לטקסט באנגלית.

הידרותמלית שחורה.

2. מערכת השברים הכללית: שתי מערכות שלובות N45 - N50W ו-N35E. כמו כן, מערכת בכוונני N-S ; E-W ו-N25W.

2. מינרליזציה (ראה עבודתו של מ. שרגא ז"ל).

על קו הפארן וקו עשת והשברים הסמוכים נוצר בצר ברזל תוצאת מינרליזציה של תמיסות הידרותרמליות. הסלעים הסמוכים לשברים עברו דלומיטציה ורבה בהם כמות הסיליקה. המינרליזציה החלה לאחר האאוקן העליון ונמשכה גם בשלבי שחרור הלחץ (פליו-פליסטוקן?).

3. היסטוריה טקטונית.

א. דפורמציה פרה טורון תחתון: נגרמה על ידי לחצים בכיוון N-S ויצרה את מבני הפארן. שבר הפארן וכן שברי מישור החרוט וגבעת שורקים. השברים בכיוון N50W ו-N35E מתאימים למסגרת אחת, וכנראה פעלו כולם בתקופה זו.

ב. דפורמציה פוסט טורון תחתון. נוצרו מבנים בשדה מאמץ S45E - N45W שהושפעו על ידי עצם קיום זכיווני הסטרוקטורות העתיקות ושבר הפארן, המקבילים להם. רק בהתרחקם (גיאוגרפית) מקבילים המבנים הצעירים יותר את כוונם העצמי S45W - N45E משני צדי שבר הפארן. אנטיקלינת רמת צופר מצפון, והר צניפים מדרום הן בטוי עצמאי לכיוון דפורמציה חדש זה ללא השפעת המבנים העתיקים.

השבר העתיק של הפארן מנע הווצרות שבר חדש, וכפה שחרור לחצים באמצעותו על אף שכוונו לא תאם בדיוק את הדפורמציה החדשה.

אירועים מרכזיים ושלבי ביניים בהווצרות המבנה.

1. סנטון-קמפן. ניצני המבנים החדשים עקב מערכות לחצים SE-NW. שנויי עובי בקרטון מנוחה

2. הרמה וגדיעה פוסט תצורת מנוחה. HIATUS בשקיעת תצורת מישש על ציר הר סלעית.

3. פעילות בשבר הפארן ושנויי עובי בתצורת מישש. המשך HIATUS על ציר הר

סלעית .

4. טרנסגרסיה בזמן שקיעת פרט גיר הבולבוסיס בתצורת מישש המכסה באי התאמה זויתית את קרטון מנוחה שנראה גדוע בדרום, עם תופעות של חוף. (1 ק"מ דרומה - חתך מלא של צור מישש).
5. תצורת מור (איאוקן תיכון) עם גלאוקניט, בבסיסה טרנסגרסיבית, ומכסה באי התאמה את דרגש פרט חפיר מגיל לנדיניאן. במקומות מונחת על תצורת ע'רב.
6. פאזה עיקרית של קמוט ושבירה באזור בגיל שבין תצורת קציעות ותוך כדי שקיעת תצורת חצבה. מינרליזציה הידרותרמלית.
7. פאזה טקטונית פרט תצורת חצבה.
8. רמזים לפאזה טקטונית לאחר שקיעת קונגלומרט הערבה. תצורת סף לא עברה דפורמציה.

4. סטריגרפיה. (ציור 5, 4)

החתך העמודי המורכב של רכס מנוחה כולל תצורות בטוח הגילים מקרטיקון תחתון

(?) עד פליסטוקן (?) בעובי כולל של כ- 1150 מ'. למעשה חשופות כאן כל התצורות המוכרות בנגב המרכזי והדרומי שמעל תצורת חתירה, כשרובן מגיעות לעובי גדול (כחלק מסינקלינוריום החיון). חלק מהתצורות כגון פצלי אורה, תצורת מנוחה ותצורת מישש (העובי המקסימלי הידוע בארץ) בעובי גדול מאד. משני צדי הציר האנטיקלינלי הראשי מבחינים בהבדלי עובי וליתולוגיה בחלק מהתצורות. ברכס מנוחה נערך החתך הטפוסי של תצורת ציחור ונתגלה מחשוף של סלעים מגיל איאוקן עליון (עם ATURIA ROVASENDIANA PARONA).

5. תאור מסלול הסיור (ציור 6).

=====

1. נסיעה מחניון יעלים ביטבתה עד כ- 3 ק"מ מצפון לצומת באר מנוחה.
2. תצפית על כפת עשת, שבר עשת, זבקעת שברים, ממערב לכביש הערבה.
3. (מותנה ביכולת עבירות האוטובוס) נסיעה מערבה בבקעת שברים לאורך רכס עשת, והכרת המבנים הקטנים לאורך שברי הפארן ועשת.
4. הליכה רגלית של כ- 3.5 ק"מ מכביש הערבה (מדרום לכפת עשת) עד מושב פארן.

תחנות ביניים:

- א. מחשופי אבן החול של פרט גדרון (חצבה עליון) בנחל שברים, שבר עשת.
 - ב. מינרליזציה בבקעת שברים.
 - ג. הכרת החתך של פצלי-אורה והשינויים בתצורה משני צידי הציר.
 - ד. הכרת החתך של תצורות גרופית, ציתור, מנוחה, ומישש.
5. נסיעה ממושב פארן דרך באר מנוחה והכרת תצורת סף תצפית על מחשופי תצורת מור.
6. תצפית מאזור גבעת עורקים (הכביש לצומת ציחור).
 - א. נחיתת המבנה של מנוחה לכיוון דרום (HOGBACKS של תצורת מישש).
 - ב. גדיעת קרטון מנוחה על ציר הר סלעית ושנויים בתצורת מישש. 7. צומת ציחור תצפית על שינוי כיוון הסטרוקטורה לנו של צניפים. ה"קמטים" בתצורת מישש. הכרת חתך תצורת ע'רב ותקיה.
8. תצפית ממערב לנחל ציחור על אזור "צוואר הבקבוק" והחלק המערבי של רכס מנוחה.
9. מעלה פארן. תצפית על השבר ההפוך של פארן.

סיור לגרבן של הכרכום.

יוסף ברטוב, המכון הגיאולוגי, וצבי גרפונקל, האוניברסיטה העברית

הגרבן כרכום הינו גרבן דמוי מעויין, הנשען על שבר פארן מידותיו 8 X 17 ק"מ, והוא מוגבל בעיקר על ידי שברים נורמליים. (לאורך שבר הפארן בקטע שבין כפת עשת ונחל כרכום נמצאו גם מספר מקומות בהם הוא שבר הפוך). שבר פארן עריף א נקה - בורוק מופה בחלקו העובר בתחומי הנגב ע"י BROWN, GWINN & NASR (1941); SHOW (1947); זבן תור ופרומן (1954, 1964). עבודה מפורטת ביותר לאורך הקטע שבין כביש הערבה ובין נחל ציחור נערכה ע"י סקל (1967), ותופעות המינרליזציה הברזלית נסקרו ע"י שרגא (1967). בן תור ופרומן (1954) ופרומן (1967) מתייחסים לקו הפארן כאל שבר תזונה אופקית דקטטרלי, מן המערכת של שברי הרזחב בנגב. פרומן ייחס לו תזונה של כ- 600 מ', והניח שאנטיקלינות שלאורכו הן כפות שנוצרו בזוית לשבר בתהליך התזונה. סקל ראה בו שבר שלאורכו ציר אנטיקלינלי רציף, וציין את אי מציאות סימני גרירה אופקיים ואת העדר הסטת מבנים לאורכו כעדויות נגד תנועה אופקית. לפי סקל הוא מתחלק לשני חלקים: שבר עשת נזרמלי, ושבר הפארן ההפוך.

גרפונקל והרוביץ (1968) טפלו בסדימנטים של האזור במסגרת עבודתם על הגיאומורפולוגיה של הנגב המרכזי. גרפונקל (1970) הציע לראשונה קיומו של הגרבן דמוי מעויין באזור נחל פארן-נחל כרכום.

בעבודה במרכז סיני (ברטוב 1974) אותר המשכו של שבר הפארן מערבה לג'בל עריף א-נקה בג'בל חרים, ובג'בל בורוק, עד לאזור מעבר המיטלה. אותרה לאורכו תזונה אופקית הפוסט מיוקנית (השבר מסיט דקטטרלית דייקים בני 21 מיליון שנה) שבין 650 - 325 מ', גרבן כרכום הינו אחד בסדרה של גרבנים לאורך השבר (גרבן ברוקה, ביר מעין) (ציור 7) אשר לכולם הסטוריה דומה הניתנת לתבחנה בעזרתם של משקעים קלסטיים. באיזור הגרבן עצמו לא נמצאו שום עדויות לתנועות שבירה קדומות לאיאוקן אמצעי (שכבות איאוקן מאוחר לא

נמצאו כאן - אלא רק מזרחה, באזור צואר הבקבוק).
ויסברוד וקלנג (1974) טענו למציאות גרבן או אגן עתיק מגיל פליאוזואיקן
במקום, על בסיס מדידות מגנטוטלוריות.

תצורת חצבה.

סדימנטים של תצורת חצבה מונחים בתוך הגרבן בהתאמה ע"ג סלע האיאוקן
התיכון (ציור 8). להוציא מחשוף בנחל ציחור (גרפונקל והורוביץ 1966) לא
נמצא חתך של תצורת חצבה מחוץ לאזור הגרבן. בחלק התחתון של תצורת חצבה
מצוי קונגלומרט הבסיס (פרט שחק) הבנוי מחלוקים אנגולריים, שעיקרם גיר
איאוקני, עם מעט מאד צור, בתוך ליכוד גירי. עוביה של יחידה זו משתנה בין
0 לכ- 25 מ'. רוב מחשופי הקונגלומרט מצויים בשולי הגרבן בעיקר באזור
הדרומי גבולו, ונראה שהם שרידים למניפות סקף קדומות. לעבר אמצע הגרבן,
זגם באזורים שבין המניפות מוצאים בחלק התחתון של החתך גיר ורוד (פרט
משק) עם חוזאר האופיני לתצורת חצבה בערבה ובנגב המרכזי (גיר עם מלאניה
במקומות) היחידה הגירית - חווארית מצויה בכל מקום בו מגיעה החשיפה לעומק
המתאים.

מעל פרט משק מצוי רצף של חולות אדומים וחרסיות (פרט גידרון) עבה במיוחד
(עד לכ- 900 מ') ברצף זה מצויות שכבות אחדות עשירות בחלקים מעוגלים,
בעיקרם צור אלוכטוני, חלוקי קוורץ, ומעט חלוקים גיריים. בחלק האמצעי של
החתך ישנן שתי שכבות בעובי 2-3 מ' בהן החלוקים שעונים הדדית, וההזפעה
דומה לזו של קונגלומרט הגג של תצורת חצבה בנגב הצפוני. החלק העליון
ביותר של החתך (פרט כרכום) בנוי חול אדום ובו מרובים החלוקים הגיריים
(מצויים גם חלוקי צור) זויתיים למדי. שנגזרו ברובם מהחתך האיאוקני.
יחידה זו מזכרת בכמה מקומות לאורך הקיר הדרומי במרכז ובמערב הגרבן. והיא
מצויה ברצף אחד עם החתך כולו ללא אי התאמות זויתיות. בנקודה אחת באזור
כביש מצפה רמון - אילת, בקרבת השבר הדרומי, מונח חתך שמיקומו הסטרטיגרפי
בוא כ- 70 מ' גבוה מן הבסיס, על גבי שכבות איאוקניות. החתך של פרט
גידרון עשיר בקלסטטים, כאן כולם גיריים, הרליף פרי חצבה המזבחן כאן הוא

של כ- 10 מעלות.

לכל אורכם של השברים המגבילים את הגרבן נראית שבירת השוליים כשהיא מעתיקה את תצורת הצבה, הנטייה בנשיות חזקות בקרבת השבר.

התמונה המתקבלת באזור זה לגבי תקופת השקעת תצורת הצבה:

1. העובי הגדול של התצורה יחסית למזכר באזורים אחרים של הנגב, ועמו הרליף המובחן לאורך הקיר הדרומי, מצביעים על תחילת יצירתו של אגן מורפוטקטוני בזמן בו שקעה התצורה, אין בידנו עדויות ישירות לשבירה בתקופה זואך ריכוז מניפות לאורך שוליו מצביע על קיום מתלולים לאורך שוליו, הריכוז הגבוה של הקלסטים הגסים לאורך כל החתך מצביע על אגן משתפל בכל תקופת ההשקעת התצורה.

2. הדמיון הרב בפרטי החתך וברצף שלו באגן כרכום ובמקומות אחרים בהם חשופה תצורת הצבה בנגב המרכזי ובמזרח סיני מצביע על הקשר בין האגנים, ומונע אפשרות של הסטוריה עצמאית לגמרי לאגן זה. תצורת הצבה השתמרה בגרבינים בשל שבירה מאוחרת, אם כי מלכתחילה היתה עבה במיוחד בגרבן כרכום, שהרי זה השתפל בזמן הצטברות התצורה. 3. בעת השקעת החלק העליון של התצורה התקיים לאורך הקיר הדרומי של האגן מצוק, שנוצר כנראה על ידי שבירה.

קונגלומרט הערבה.

היחידה הקלסטית העליונה המוכרת באגן כרכום היא קונגלומרט הערבה, (קונגלומרט המישר) שעיקרה חלוקים שנגזרו מסלעי הסביבה הקרובים. בד"כ התעגלתם גרועה, אם כי מוצאים גם שכבות חלוקים בעלי התעגלות טובה. הליכוד בד"כ חולי או חווארי. בחלק העליון של החתך מצויות שכבות של קירטון לבן, בעובי של מספר מטרים, המשוכב היטב עם הקונגלומרט. בקירטון מוצאים שיכוב למינרי, ובמקומות פאונה של שבלולים יבשתיים. החתך מגוון מאד, וקימות בו הרבה תופעות של תעלות וגדיעות. בסה"כ עוביו עד כ- 100 מ'. בחלקו העליון מוצאים גם חלקים מגמטיים של קוורץ פורפיר שמקורם כנראה באזור אילת. בתוך הגרבן יחידה זו אופקית כמעט לגמרי והיא מונחת על סלעי תצורת הצבה באי התאמה היחידה מצויה גם מחוץ לגרבן, וחלקו העליון יוצר

משטח אופקי למדי בגובה של כ- 400 מ', והיא מונחת גם על סלעים של תצורת מישאש, תצורת ציחור, ותצורת גרופית.

בד"כ מכסים סלעי היחידה על שברי השוליים של הגרבן ללא הפרעה אם כי במקומות אחדים נמצא שבר המעתיק את החלק התחתון (עד 10 מטר) של היחידה ואילו החלק העליון מכסה עליו. לאורך השבר הדרומי נמצא אתר בו השבר בתוך תקונגלומרט הוא הפוך. במרכז הגרבן נמצא גם כמה שברים נורמליים השוברים שכבות של קונגלומרט הערבה.

קונגלומרט זה המשכי ליחידה הקלסטית המוכרת מאזור כונתילה ודרומה וכן צפונה באזור אום חלוף. נראה שניקוז מערכת זו היה אל הערבה דרך המישר, בו נמצאו סדימנטים של יחידה זו, או דרך קניון הפארן. באזור גרבן כרכום נמצאו לפחות 2 דורות נוספים של טרסות צעירות יותר, אך בשלב זה אין בהם שימוש לתארוך האירועים בגרבן. הקורלציה של יחידה קלסטית זו אל קונגלומרט הערבה (בן-תור ופרומן, 1957) מבוססת על המשכיות לטרלית של המחשופים בגרדיאנט אחיד למדי, ועל הדמיון הליתולוגי.

תחנות הסיור.

1. השבר הדרומי של גרבן כרכום.

באזור הכביש המרכזי מצפה-רמון אילת (ליד מעלה פארן) (ציור 9). תצפית כללית אל הגרבן ואיתור שברי השוליים שלו. לתך של תצורת חצבה אזור ויחסו אל מישור השבר.

אי התאמה של קונגלומרט הערבה על גבי תצורת חצבה (ציור 10), תצפית אל מחשופים של קונגלומרט הערבה המכסים באי התאמה את שברי השוליים של הגרבן.

2. השבר הצפוני של הגרבן.

הליכה ברכב אל מחשוף השבר בנ.צ. 1440/9763 (ציור 11). מישור ההעתק נטוי אל עבר הגרבן, ועליו סימני גרירה נטויים לכיוון מערב. תצורת חצבה נטויה בקרבת מישור ההעתק וקונגלומרט הערבה ממלא תבליט שנוצרו ע"י מצוק ההעתק,

ומכסה עליו .

3. נסיעה לאורך השבר הדרומי של הגרובן לאזור כניסת נחל פארן לתוכו

תצפית על חלקי חתך שונים בתצורת חצבה ועל החלק הגבוה ביותר של החתך המכיל חלוקים שנגזרו מן הסביבה הקרובה. מחשוף של השבר הדרומי המראה שבירה בשני שלבים: פרה ופוסט השקעת קונגלומרט הערבה.

הקומפלקס המטורפי של איזור אילת-ביקור מחודש

דב אביגד ואלן מהיוס
המחלקה לגיאולוגיה, המכון למדעי כדור הארץ
האוניברסיטה העברית בירושלים, י-ם 91904

מציאותן של צפחות מדרגת מטמורפיזם גבוהה בחלקו המרכזי והדרומי של הקומפלקס המטמורפי באיזור אילת (איזור ה"קמפוס") יכולה להעיד על קיומה של כיפה תרמלית. אולם, מודל הכיפה מתקשה להסביר היבטים מסוימים הקשורים במטמורפיזם של האיזור, ובמיוחד את המבנה הכללי של הסדרה המטמורפית.

במהלך הסיוור נציג פרוש והסבר חליפי להתפתחות הטקטונית והמטמורפית של הסלעים באיזור. ההסבר מבוסס על תצפיות שדה המעידות על רצף מאורעות הכולל קימוט הדוק שוכב (צניפתי) ושבר הפוך (Thrust) הנעקבים על ידי שלבים מאוחרים של מעוות ומטמורפיזם בעצמה דועכת.

המפה הגיאולוגית של איזור הסיוור וציון תחנות ההסבר מוצגים ב - Fig 1 * . במהלך הסיוור נחצה את האזור מצפון לדרום במסלול הדומה לתוואי החתך המוכלל המוצג ב - Fig 2 . מרחק ההליכה כ - 3 ק"מ. סיכום קצר של ההיסטוריה המטמורפית והטקטונית באיזור מופיע ב - Table 1 .

סקירה כללית

מישורי צפחתיים S1 אשר נוצרו במשך שלב הקימוט F1 הם מרכיב המבנה הדומיננטי בשטח ונוטים לרוב באופן תוון דרומה (Fig 2) . דרגת המטמורפיזם בסדרה המטמורפית עולה בהדרגה מצפחות ביוטיט בצפון האיזור (Fig 1) , דרך צפחת גרנט במרכז, לצפחות מדרגה גבוהה הנושאות סטאורוליט וסילימניט בדרום השטח. כיווני המגעים הליטולוגיים והאיזורים המטמורפיים, דומים לכיוון הכללי של מישורי הצפחתיים S1 ורומזים על כך שהמגעים והאיזורים המטמורפיים רכשו את כוונם במשך הקימוט F1 . מבט אל החתך ב - Fig 2 מראה שהסדרה המטמורפית הפוכה על ראשה. סלעים מדרגה מטמורפית גבוהה (צפחות סטאורוליט) נמצאים על סלעים מדרגה נמוכה יחסית (צפחת גרנט), ובתחתית החתך מופיעה צפחת ביוטיט מהדרגה הנמוכה ביותר. מוצע לכן, שהמבנה ההפוך של הסדרה המטמורפית הוא תולדה של קטט F1 צניפתי (ראה Fig 2) אשר סלעי הקומפלקס החשופים בשטח מהווים את אגפו התחתון ההפוך.

תצפיות שדה מראות שגופי צפחת הגרנט אינם באים במגע עם גופי צפחת הסטאורוליט ובדרך כלל סלעי הגנניס הגרגיטי חוצעים ביניהם. בנוסף נצפו שני סוגי מגעים בין הגנניס הגרגיטי לצפחות. בעוד שהמגע בין הגנניס לצפחת-הגרנט הוא מגע אינטרוזיבי, המגע בין הגנניס לצפחת הסטאורוליט חד ביותר ומאופיין בהתפתחות שארג מילוניטי בגנניס. מוצע שהמגע החד הוא מגע טקטוני אשר על פניו התרחשה במשך F1 , שבירה הפוכה אשר הביאה סלעים מדרגה גבוהה למגע חד עם הגנניס הגרגיטי.

לסיכום, לפי המודל היה טור הסלעים במעב שקדם ל-F1 , מרכב מסדרה מטמורפית בעלת מבנה נורמאלי, שבה סלעים מדרגה נמוכה (צפחות ביוטיט) היו ברמות סטרוקטורליות גבוהות, בעוד שסלעים מדרגה-גבוהה יותר (גרנט, סטאורוליט) היו ברמות נמוכות. קימוט צניפתי במשך F1 גרם ליצירתו של אגף תחתון הפוך אשר בו האיזורים המטמורפיים הפוכים אף הם. אפשרי שהקטט לווה בשבירה הפוכה שהביאה מעומק רב יותר סלעים מדרגה גבוהה למגע טקטוני עם הגנניס הגרגיטי. יש להדגיש שעל פי המודל, הקימוט הצניפתי בלבד יוכל להסביר את התפתחות המבנה המטמורפי באיזור, בעוד שהשבירה ההפוכה היא פרוש שנועד להסביר תצפיות משניות בלבד.

* השרטוטים המתאמים לסיוור מצורפים לטקסט באנגלית.

המשך המשטר הלחיצתי מתבטא במעוות העוקב F_2 , שהביא ליצירתם של קמטים קטנים יותר (עד מאות מטרים), פתוחים או הדוקים, אשר מישורי הצירים שלהם אנכיים וציריהם נוטים קלות מערבה. מבנה סינפורמלי רחב בדרום - מערב האיזור, המקמט בין השאר גם את המגע הטקטוני בין הגנייס הגרניטי לצפחת הסטאורוליט, הוא אחד התוצרים העיקריים של שלב זה. סיום גידולם של מינרלים המציינים דרגת מטמורפיזם גבוהה מתרחש בסמוך לדעיכת הקימוט F_2 .

השלב הבא בהיסטוריה של האיזור קשור בשינוי המשטר הטקטוני והתרמלי. קרום של הסלעים ומשטר מתיחתי אפשרו את חזירתם של דייקים בסיטיים בסיוור מקביל. חימום מחדש, מטמורפיזם בדרגה בינונית והתחדשותו של משטר הלחיצה המירו את הדייקים ל"גריין שיסט". המטמורפיזם של הדייקים ניכר בסלעים המארחים על פי תופעות הרטוגרדציה שניצפות בהם. במשך המטמורפיזם של הדייקים התפתחה בהם צפחתיות ולינאציה ברורה. לינאציה מינרלים אזורית, מקבילה לזו הנמצאת בדייקים, מצויה גם בסלעים המארחים.

מעוות מאוחר ניכר בקימוטן של הלינאציות וסטרוקטורות קודמות אחרות.

ההיסטוריה המטמורפית של האיזור נחתמת עם חזירתו של גרניט אילת. האורינטציה של מגעי הגרניט עם סלעי הקומפלקס המטמורפי יוצרת טבנה סינפורמלי רחב. על פי נוכחותה של לינאציה חלשה בסלע סביר להניח שלפחות חלק מהטבנה הוא תוצאה של קימוט. תרומה אחרת למבנה יכולה להתקבל מחזירה מעדפת של הגרניט לאורך טבנים קדומים.

מדריך סיוור

תחנה 1 - המגע בין גרניט אילת וצפחת הביוטיט צפון נחל יעל. גרניט אילת נחשף בגבולו הצפוני של הקומפלקס המטמורפי (Fig 1). המינרלוגיה של הגרניט כוללת קוורץ, פלגיוקלז, K - פלדספר, ביוטיט ומוסקוביט. נוכחותה של לינאציה חלשה בסלע ויחסי שדה עם סלעים אחרים, מעידים שהגרניט חדר בשלבים מאוחרים של המעוות והמטמורפיזם אשר עיצבו את סלעי האיזור. המגע עם צפחת הביוטיט (כאן) נוטה דרומה ומשופע בעורקים אפליטיים ופגמטיטים שהזרקו אל תוך הצפחות. צפחות הביוטיט, מטוצא סדימנטרי, מרכבות בעיקר קוורץ, פלגיוקלז וביוטיט, ומראות צפחתיות ברורה הנוטה דרומה. צפחתיות זו מכונה SI כיוון שמייצגת את מישורי הצפחתיות העתיקים ביותר שניתנים לזיהוי בשדה (Shimron, 1972), לינאציה מינרלים בכיוון נטית הצפחתיות מצויה לעתים על SI. מישורי שיכוב מקוריים נוטים להיות מקבילים ל - SI כתוצאה משיטוח חזק במשך F_1 . צירי קמטים קטנים של F_1 נשמרים רק לעתים רחוקות (ראה תחנה 4).

הדרך מתחנה 1 לתחנה 2:

בתוך צפחת הביוטיט מופיעות לשונות אמפיבוליט שחדרו מתוך גוף האמפיבוליט העיקרי, החשוף דרומה יותר. הלשונות מקומטות ומשוטחות במקביל ל - SI ולעיתים מכילות קטנוליטים של צפחה. לוסף על כך מופיעים לאורך הנתיב עורקים פגמטיטיים ודייקים פורפיריטיים לא מטמורפיים.

תחנה 2 - הופעת גרנט בצפחות. ("garnet-in" surface).
בתחנה זאת מופיעים לראשונה פרופירובלסטים של גרנט בסדרה המטמורפית.
הופעתו הראשונה של גרנט בצפחות יוצרת משטח גבול בין צפחות הביזיט לזפחות הגרנט.
משטח הופעת הגרנט משתרע לרוחב השטח בכיוון כללי מזרח - מערב ונטוי דרומה במקביל לכיוון S1.
בתחנה שמישור זה היה במקורו אפקי, ההקבלה של המשטח לצפחות הנטויה S1 מעידה על קימוט במשך F1. כתוצאה מהקימוט סלעים מדרגת גרנט נמצאים מעל סלעים מדרגת ביזיט (Fig 2).

הדרך מתחנה 2 לתחנה 3:

חוצים את המנע בין צפחת הגרנט לאמפיבוליט. מספר מחדרים קטנים של גנייס גרניטי מופיעים לאורך המסלול בתוכו לינאציית מינרליס וצפחותיות. באמפיבוליט S1 מפותח מקומית.

תחנה 3 - גוף האמפיבוליט

התחנה ממוקמת על ראשו של הר שחמוץ (325 מטרים) במרכזו של גוף האמפיבוליט העיקרי. מכאן נשקף הקומפלקס המטמורפי כולו וכך איזורים רחוקים יותר.

האמפיבוליט הוא סלע מחדר שעבר מטמוריזם ומרכב ממספר גופי מחדר משניים שהרכבם נע מגברו עד קוורץ דיוריט. הגוף האמפיבוליטי הכללי מאריך בכיוון מזרח - מערב ומוקף בצפחת גרנט. מחדרים קטנים יותר של אמפיבוליט נמצאים גם במקומות אחרים בשטח (בתוך צפחת הביזיט בצפון, ובתוך צפחת הסטאורוליט בדרום). המינרלוגיה של האמפיבוליט כוללת בעיקר פלגיוקלז, אמפיבול וביזיט. במקומות צפחותיות S1 מפותחת בסלע ומעידה שחידרתו התרחשה לפני F1. דרגת המטמוריזם של הסלע הגדרה בתחום הנמוך של הפציאט האמפיבוליטי (Page, 1972) ונמצאת בהתאמה לדרגה של צפחת הגרנט הסמוכה.

הדרך מתחנה 3 לתחנה 4:

יורדים דרומה מהאמפיבוליט לצפחת הגרנט. בצפחות S1 הנוטה דרומה ולינאציית מינרליס מתונה בכיוון 240° .

תחנה 4 - קמטי F1 קטנים.

מישורי שיכוב מקוריים, עשירים בקוורץ, נשמרים בצפחות ויוצרים קמטים הדוקים, אסימטריים, באורך גל של עד עשרות סנטימטרים. צפחותיות S1 מפותחת באפקים עשירי מיקה במקביל למשטח הצירים של F1. צירי F1 נוחתים קלות לכיוון 250° ולינאציית המינרליס המפותחת על S1, נוחתת במקביל להם. בעוד שמישורי S1 לאורך הדרך אותה עברנו נוטים בצורה אחידה דרומה, הלינאציה על פניהם משנה את צניחתה והופכת להיות תת מקבילה לסטרייק של S1.

תחנה 5 - קימוט F2 של צפחת הגרנט והגנייס הגרניטי.

הגנייס הגרניטי מרכב קוורץ, K - פלדספר בחוספת פלגיוקלז וביזיט. הצפחותיות S1 שקיימת בבירור בצפחות וחלש יותר בגנייס הגרניטי, מקומטת על ידי קמטי F2 המהווים את שלב המעוות השני (Shimron, 1972). צירי הקמטים נוחתים מתונות מערבה. הקמטים בחלקם פתוחים ובחלקם הדוקים ואורך הגל שלהם מגיע למספר מאות מטרים. הקמטים מאופיינים על ידי מישורי צירים אנכיים אשר במקומות מתפתחת במקביל להם צפחותיות חדשה - S2. לינאציית המינרליס הקיימת בסלע תת מקבילה לכיוון צירי הקמטים. דרומה לשיא הקמט חוצים דיוקים מטמורפיים את אגפו הגרניטי.

הדרך בין תחנה 5 לתחנה 6:

פונים לכיוון צפון צפחת גרנט מקומטת ע"י F2. הגנייס הגרניטי מכיל במקומות קסנוליטים של צפחה ולעיתים מפותח בו S1.

תחנה 6 - המגע האינטרוזיבי בין צפחת הגרנט לגנייס הגרניטי.
המגע האינטרוזיבי בין הגנייס הגרניטי לצפחת הגרנט מאופיין בהופעה של סחדרים גרניטיים קטנים המפוזרים באופן בלתי סדיר בתוך הצפחות, על פני שטח מגע שרחבו מספר עשרות מטרים. קסנוליטי של צפחה מופיעים בתוך הגנייס הגרניטי ופורפירובלסטים של פלדספר נפוצים סביב המגע בצפחות. המיעון של צפחיות F1 בצפחות סביב גופי הגרניט והתפתחות S1 בגרניט מעידה שחזירתו התרחשה הקדימה של פני הקימוט F1.

הדרך שתחנה 6 לתחנה 7:

פונים מערבה וחוצים את גוף הגנייס הגרניטי. במקומות ניתן להבחין בצפחיות S1 רדודה ולינאציה חלשה בגנייס.

תחנה 7 - המגע הטקטוני בין הגנייס הגרניטי וצפחת הסטאורוליט.
כאן נחשף טבע חד בין הגנייס הגרניטי לצפחת הסטאורוליט מהדרגה הגבוהה אשר נוטה לכיוון דרום-מערב במקביל ל S1 בצפחות. מארג מילוני מתפתח בגרניט באזור המגע. הצפחות מעל המגע נושאות סטאורוליט, סילימניט וקורדייריט. אנליזה גאותרמומטרית הראתה שהצפחות הללו נוצרו בטמפרטורות של כ- 570°C ולחצים של 2.5 - 3.5 Kbar (Reymer et al., 1984). המגע הטקטוני החד המופיע בין הגנייס הגרניטי וצפחת הסטאורוליט שמעליו נבדל ברור מהמגע האינטרוזיבי שנצפה קודם לכן בתחנה 6. בשלב זה ראוי להדגיש מספר תופעות: א) הצפחות מהדרגה הגבוהה נמצאות מעל הגנייס הגרניטי מעל צפחת הגרנט והאמפיבוליט אשר בעצמם נמצאים מעל צפחת הביוטט, מהדרגה הנמוכה ביותר. האיזור המטמורפי נמצא לכן הפוך ביחס לטור התרמו-סטריגרפי המקורי (Fig 2). ב) לא נמצא בשטח מגע או מעבר רציף בין צפחת הסטאורוליט וצפחת הגרנט. הגנייס הגרניטי בדרך כלל חוצץ בין שני סוגי הצפחה.

על פי המודל המוצע, מבנה הסדרה המטמורפית, ובעיקר האיזור המטמורפי ההפוך והקבלה של משטח ה- "garnet-in" ל S1 (בצפון) הם תוצאה של קמט צניפתי הפוך שהתפתח במשך F1 (Fig 2). סלעי הקומפלקס המטמורפי החשופים כיום בשטח מהווים את אגפו התחתון ההפוך של הקמט. אי הרציפות בין צפחת הגרנט לצפחת הסטאורוליט וקיומו של המגע הטקטוני בין צפחת הסטאורוליט והגנייס הגרניטי, יכולים להיות פוטנציאלים ע"י שבירה הפוכה לאורך המגע הטקטוני שהביאה צפחת סטאורוליט אל מעל הגנייס הגרניטי וצפחת הגרנט.

תחנה 8 - דייקים מטמורפיים בגנייס הגרניטי.
דייקים צפחתיים חוצים כאן את הגנייס הגרניטי. הדייקים מורכבים מפלגיוקלז, ביוטיט והורנבלנדה-אקטיונוליטי. המינרלוגיה של הדייקים והכימיה של האמפיבוליט מעידים על מטמורפיזם בפצויאס נרין - שיסט גבוה (Avigad, 1984). קירות הדייקים אנכיים בקירוב טוב, כיוונם בערך מזרח - מערב, והנם תת מקבילים למישורי הצירים של F2. בזמן המטמורפיזם של הדייקים התרחשה דפורמציה שיצרה בהם צפחיות אנכית ולינאציה רדודה במקביל לקירותיהם. לינאציה חזקה ומארג מילוני נוצרים גם בגנייס הגרניטי במגע עם הדייקים, במקביל לכיווני המארג בתוך הדייקים. יחסי השדה לפיהם הדייקים חוצים את אגפי הקמטים של F2 ואינם מקומטים מעידים שחזירתם מאוחרת ל F2. מסקנה זו מחוזקת גם ע"י ההיבט המטמורפי: F2 קשור בהמשך גידולם של מינרלים מדרגה גבוהה בעוד שהמטמורפיזם הניכר בדייקים (גם באלה החדורים לתוך צפחת הסטאורוליט) נמוך יותר, ומחייב חדירת הדייקים בשלב מאוחר ל F2. מכאן גם ניתן להסיק שלמרות הנטייה להקבלה, אין הדפורמציה טאחראית להתפתחות המארג בדייקים ובקירותיהם קשורה ל F2. שלב חדירת הדייקים מאפיין שינוי במשטר המאמצים, וקירור הסלעים, ומציין הפסקה בהיסטוריה האורגנית של האיזור (Garfunkel, 1980).

לינאציה מינרלים איזורית הנמצאת בסלעים המארחים מקבילה ללינאציה שבדייקים ולכן נוצרה כנראה במשך הדפורמציה של הדייקים (Garfunkel, 1980).

תחנה - 9 צפחות מדרגה גבוהה בגלעין של סינפורם-F2 .

מבנה סינפורמי ברוחב מספר מאות מטרים מפותח בדרום-מערבו של השטח. המבנה מוגדר על ידי מישורי צפחתיים S1 בצפחות והמגע החד בין הגנייס הגרניטי לצפחה. ציר הקמט F2 נוחת לדרום מערב ומישור הצירים אנכי. במקביל לכיוון ציר הקמט מפותחות לינאציות מינרליים וקרנולציות. במקביל למישור הצירי מתפתחת צפחתיית חדשה - S2. מישורי S1 הנטויים דרומה נחתכים על ידי מישורי S2. כתוצאה מהחיתוך בין שתי המערכות נוצרת לינאציה של חיתוך, והסלע מקבל הופעה "סיגריית".

פרופיקוּבולסטטים של סטאורוליט + פסוידומורפיט של קורדייריט + גרנט ולעיתים גם אנדלוזיט, ניתנים להבחנה בדוגמאות יד. סילימניט סיבבי מופיע בשקפים. מציאת אנדלוזיט וסילימניט מוכרת באיזוריים של מטמוריפיזם בטמפרטורה גבוהה ולחץ נמוך, ומעידה על תנאים הקרובים לגבול המשותף להם (2.5 kbar , 550°C).

הדרך בין תחנה 9 לתחנה 10:

מישורי S2 אנכיים הם מרכיב המבנה הדומיננטי. בהמשך הדרך דרומה, מישורי S1 נוטים צפונה.

תחנה - 10 - האגף הדרומי של מבנה הסינפורם F2.

האגף הדרומי מוגדר על ידי מישורי S1 והמגע הטקטוני בין הגנייס הגרניטי לצפחות, אשר נוטים צפונה.

תחנה - 11 - נקודת סיום, גרניט אילת.

גרניט אילת מהווה כאן את גבולו הדרומי של הקומפלקס המטמורפי. הגרניט נמצא כמגע עם הגנייס הגרניטי באיזור התחנה ועם הצפחות במרחק מה. המגע עם סלעי הקומפלקס המטמורפיים מאורך בכיוון כללי מז' - מע' ונוטה צפונה. נזכיר שהמגע הצפוני של גרניט אילת עם צפחת הבינויט נטה דרומה ואפשרי שגרניט אילת יוצר מבנה סינפורמלי רחב הכולל בתוכו את שאר הסלעים.

הבעת תודה:

ארתור ריימר תרם תרומה חשובה למחקר המוצג.

References:

- Avigad D (1984) The deformation and metamorphism of schistose dikes in the Elat area (N.E. Sinai), M.Sc. thesis, Hebrew University of Jerusalem, 91 pp.
- Garfunkel Z (1980) Contribution to the geology of the precambrian of the Elat area. Israel J. Earth Sci. 29, 25-40.
- Page M (1972) The geology of Mt. Shahmon meta-diorite complex. M.Sc. thesis, Hebrew University of Jerusalem, 99 pp.
- Reymer, APS, Matthews, A, and Avigad D (1984) Inverse metamorphic zonation, thrusting and folding in the Arabian Shield in NE Sinai: evidence for Pan African crustal shortening. Geol. Soc. Am. Abstr. with Progr. 16.
- Shimron AE (1972) The precambrian structural and metamorphic history of the Elat area with comparative notes on the metamorphic rocks of the Sinai peninsula. Ph.D. thesis. Hebrew University of Jerusalem, 244 pp.

סיור מס' 5

לאזור באר אורה ושבר תמד.

יוסף ברטוב, המכון הגיאולוגי, ירושלים.

סיור זה נועד להכרת אזור נחל רחס ובאר אורה, הכולל את קצהו המזרחי של שבר תמד. האזור מופה בקנ"מ של 1:20,000 (ברטוב 1967), (ציור 1)* וההכרות עם קטע זה של השבר נעשתה תוך כדי המיפוי. בעבודה בסיני הוכרו מאפיינים נוספים שלו, אשר קשה היה להכירם בעבודה על פני שטח מצומצם. חלק ניכר מן המבנים אשר בשטח המפוי קשורים בבקע הערבה ובשלבי יצירתו השונים, ואין ספק שחלק מן הסיבוכים המבניים של האזור מקורו כפגישה שבין שני האלמנטים המקטוניים הנ"ל.

סטרטיגרפיה.

חלק החתך העתיק ביותר הנחשף באזור הוא החלק הגבוה של אבני החול הנוביות על פני רובו של השטח נחשפות שכבות של חבורות יהודה, הר הצופים ועבדת הסלעים הצעירים ביותר משתייכים לקונגלומרט רחס, ולמשקעי טרסות צעירות החתך מסוכם בציורים 2 ו-3 (מתוך BARTOV ET AL., 1972).

מבנה (ציור 4).

א. הכפיפה לערבה.

בשוליים המזרחיים של האזור בולטת כפיפה של השכבות לעבר הערבה, כפיפה כזו קיימת לאורך קטעים ארוכים של הבקע. נטיית השכבות נעה בין 10-25 מעלות. באזור הגיאוגרפי של הכפיפה מצויות כמה אי התאמות מקומיות בחתך המזוואי.

* השרטוטים המתאימים לסיור מצורפים לטקסט באנגלית.

ב. שברים במקביל לבקע.

לאורך הכפיפה מצויים מספר שברים שכיוונם צפון דרום, הבולטים שבהם הם שבר ניצוץ ושבר אורה. בכמה מקומות מלווים אותם גרבנים צרים

ג. גרבו פתח הרחם.

הגרבו שבשפך נחל רחם לערבה הוא המקום הנמוך, סטרוקטורלית, באזור. נחשפים בתוכו סלעים של חבורת עבדת וקונגלומרט רחם. בתוך הגרבו מצוייה סינקלינת צרה. המשכו לערבה אותר בתת הקרקע, בקידוחים של מכרות נחושת תמנע. שברי השוליים של הגרבו נפגשים במעלה נחל רחם ויוצרים מעין טריז.

ד. מערכת הסינקלינות.

קיימות באזור מספר רב של סינקלינות, הנמצאות רובן בסמוך לאזורי שבירה ראשיים. אחדות מהן סימטריות, ולאחדות אי סימטריות בולטת. בכל הסינקלינות שבאזור מגיעה החשיפה לאותו מפלס סטרטיגרפי בתצורת סירים (בהפרשים קטנים ממבנה למבנה). עובדה זו מצביעה על קיום פאזה ארוזיבית רגיונלית פרה יצירת הסינקלינות, אשר קדמה לכפיפה אל הערבה.

ה. מבנים אנטיקלינליים.

מספר הצירים האנטיקלינליים באזור קטן יחסית למספר הסינקלינות. הצירים מקבילים בדרך כלל לשברים הראשיים.

ו. קמטים דיסהרמוניים.

האזור מתאפיין במספר רב של מבנים דיסהרמוניים בקנה מדה שונים. קיימים קמטים חריפים למדי המלווים בשברים קטנים, והמוגבלים לחלקים מיוחדים של החתך כגון גג תצורת חצרה; בסיס תצורת גרזפית, והחלק התחתון של תצורת סיירים. בכל המקומות הללו ישנה מחזוריות של חילופין בין סלעים קומפסנטים ואינקונפסנטים כגון חרסיות וגירים או חרסיות וצור. בהרבה מקומות נשענות תופעות אלה על שברים, או שהשברונים הקשורים בתופעה נכנסים לתוך מישורי שכוב ונעלמים בהם.

ז. שבר תמד.

האלמנט השקטוני החשוב ביותר בשטח המיפוי הוא שבר תמד, הבא מגבול סיני (ציור 5) אל הקניון האדום ונחל שני, והיוצא אל הערבה דרומית לבאר אורה. כיוונו הכללי הוא מזרח מערב ובקרב הערבה יש לו תפנית לכיוון N60E זריקת השבר נעה בין 0-150 מ' ואילו מערבה יותר, באזור נחל שני, היא מגיעה לכדי 1 ק"מ.

הקטע המצוי בתחומי ישראל הוא הקצה המזרחי יותר של השבר הנמשך ממפרץ סואץ לכל רוחב סיני ומשתייך למערכת הגזירה של הנגב- מרכז סיני במרכז סיני הובחנה על שבר זה תנועה אופקית ימנית בשיעור של 0.3-0.5 ק"מ. התנועות האופקיות הוכחו בעזרת תזוזה של דייקים בזלתיים הניצבים לשבר, ותזוזות של קצוות מבנים אנטיקליניים לאורכו. גיל התנועה - פוסט ו-2 מיליון שנה.

ההיסטוריה של היווצרות המבנים.

במשך ההיסטוריה הגיאולוגית הובחנו באזור שלוש תקופות של שבירה:

- א. שבירה (?) תוך-סנונית המקבילה לערבה, אשר גרמה לאי ההתאמות בחתך.
- ב. שבירה פרה-השקעת קונגלומרט רחם.
- ג. פאזה אירוזיבית פרי יצירת הסינקלינות וגרבתן שפך הרחם.
- ד. שבירה בכיוון צפון דרום ויצירת הסינקלינות.

ה. כפיפה אל הערבה של אזורי השוליים, כולל הסינקלינות.

תחנות הטיור בנחל רחם

התחנות מסודרות בהתאם למיקומן במעלה הנחל.

1. קונגלומרט רחם בגרבו שפר הרחם. (ציור 6).

מעל שכבות הקירטון זהגיר הקירטוני שבשפך נחל רחם מונה קונגלומרט בעובי של כ- 70 מ'. הקונגלומרט נטוי כ- 30 מעלות. רוב החלוקים בנויים סלעים איאוקניים, אך מצויים גם חלוקים שנגזרו מחלקי חתך נמוכים יותר. הליכוד גירי GARFUNKEL ET AL. 1974 קבעו קורלציה בין קונגלומרט זה לבין קונגלומרט הבסיס של תצורת חצבה המוכרת מן הערבה זמן הנגב הצפוני. המחשוף מצוי במרכזו של גרובן ברוחב של כ- 500 מ'. השבר הצפוני נורמלי. תצורת טיירים מועתקת בו כנגד תצורת חצרה. השבר הדרומי של הגרובן מעתיק חלק גבוה בתצורת טיירים מול תצורת גרופית (העתקה של 90 מ').

2. "יד השטן". - תופעה של קמוט דיסהרמוני בתצורת גרופית, נ.צ. 1452/9028. (ציור 7).

חרסיות הנמצאות בשכבות דקות יחסית בחלק התחתון של תצורת גרופית זרמו כתוצאה ממאמצים טקטוניים אל אזורים סדוקים והתרכזו בהם. שכבות החרסית, כמו גם השכבות הגיריות, מקומטות וקרועות על פני מרחק גדול. ההפרעות נעלמות אל תוך מישורי שיכוב. הרבה מההעתקים הקטנים המצויים בשכבות אלה אינם עוזרים לשכבות השכנות. (ראה גם ציורים 8 ו-9).

3. שבר תמד. (ציורים 10, 11) (נ.צ. 1450/9008).

באזור זה השבר אנכי ומתלווה אליו אזור ריסוק נרחב. בצדו הירוד נטויות השכבות לעברו בנטיות של עד 40 מעלות. הוא מלווה בשורת מבנים משניים של אנטיקלינות וסינקלינות כמעט לכל אורכו. בתצפית למערב מנחל רחם נראים שני מבנים משניים: מבנה אנטיקלינלי בקרבת הנחל, ומבנה סינקלינלי באוכף שממערב לו.

באזור זה קיימות תופעות נרחבות של דולומיטיזציה אפיגנטית בקרבת השבר.

4. סינקלינת רחם.

המבנה הגדול ביותר הנמצא באזור הוא סינקלינת רחם (נ.צ.מ. 143/898). צורתה הכללית דמוית קערה, וצירה בכיוון N70E. נחשפות בה שכבות של תצורת גרופית, ציחור, וסיירים. צדה הצפוני צמוד לשבר תמד, ונראה שהסינקלינה היא אלמנט מלווה שלו.

סיור מספר 6: הגיאולוגיה של נחל יעלון
בהדרכת: אבי ליפשיץ, אלכס לבנת ועקיבא פלכטר
החוג לגיאופיסיקה ולמדעים פלנטריים
אוניברסיטת תל-אביב

מ ב ר א

- הסיור מוקדש לגיאולוגיה של נחל יעלון והכוונה להתמקד בשלושה נושאים עיקריים: א. תופעת שונית האוסטראות מגיל קמפן עליון. ב. בחינת ההיבטים הטקטוניים של גרבן יעלון. ג. הכרת קונגלומרט המכיל חלוקים מגמתיים "אלוכטוניים" והמשתתף בטקטוניקה של האיזור.
- הסיור הוא כולו רגלי, מייגע למדי עם מסלול הליכה של 6 ק"מ לערך כולל טיפוס להר יעלון (ציור מספר 1)*
- 1 - תצפית מקיבוץ יהל.
 - 2 - הליכה בנחל יעלון, תצפית על שונית האוסטראות.
 - 3 - חתך בתצורת טיירים, בדיקת השונית ושוליה.
 - 4 - גרבן היעלון.
 - 5 - הגבעות השחורות: קונגלומרט מופרע טקטוני המכיל חלוקים מגמתיים.

סטרטיגרפיה

שלוש תצורות נחשפות לאורך נחל יעלון: גרופית (טרוון עליון), ציחור (קוניאק) וטיירים (קוניאק עליון-מסטריכט).

תצורת גרופית

בונה את עיקר מצוק ההעתקים באיזור שבין נחל יעלון וצוקי שיירות. עוביה כ-130 מ'. מורכבת מהילופין של גיר קשה וחרסיות בבסיס התצורה ומגיר מסיבי בחלקה העליון.

תצורת ציחור

עוביה כ-30 מ'; מונחת בהתאמה על תצורת גרופית, מורכבת מחילופים של גיר ביקלסטי צהבה עם תואר רך.

* השרטוטים המתאימים לסיור מצורפים לטקסט באנגלית.

תצורת סיירים

עוביה כ-200 מ'; מונחת בפרקונפורמיטי על תצורת ציחור. התצורה מתחלקת ל-7 יחידות.

1. יחידת הקירטון הראשון - עוביה 23 מ'. מורכבת מקירטון מסיבי לבן.
2. היחידה החוארית - עוביה כ-26 מ'. מכילה קירטון, חואר, חרסיות ואופקים של בולבוסי גיר מצוררים בחלקם.
3. יחידת הצור המשוכב - עוביה כ-10 מ'. מורכבת מצור מחילופים של צור, קירטון ופורצלניט, בולבוסי גיר מצוררים בחלקם ואפקי פוספוריט דקים.
4. יחידת הקירטון השני - עוביה כ-45 מ' - מורכבת מקירטון לבן מסיבי. יחידה זאת מתאפיינת בהופעת האוסטראיד (Pycnodonta resicularis Lamarck)
5. יחידת הצור העיקרי - עוביה כ-35 מ'. בנויה משכבות מסיביות של צור (הומוגני ופסידורקציוזי בגוונים שבין אפור ולבן). הצור מקומט בגלים רדודים. במספר מקומות מופיעים בחלקו העליון של היחידה ביוהרמים וביוסטרומים של אוסטראידים (ראה ציון להלן).
6. יחידת הקירטון השלישי - עוביה כ-10 מ'. מכילה קירטון בחילופין עם מעט צור ופוספט. ברוב המקומות יחידה זאת מכוסה בטלוט.
7. יחידת חילופי פורצלניט פוספט וצור - עוביה מעל 30 מ'. מתאפיינת בהופעת כמות גדולה של בולבוסיס. (Turritella seetzeni Lartet; Baculites sp.)

פוספט מצורר - גג היחידה הוסר באיזור נחל יעלון.

החתך של תצורת סיירים בנחל יעלון משלים חוליה חסרה בין רכס מנוחה (סקל 1967) לבין אזור באר-אורה (ברטוב ועמיתיו, 1972) - ראה ציור 2.

התפתחות הביוהרמים בתצורת סיירים

בשני מקומות לאורך אפיק נחל יעלון נחשפים ביוהרמים של אוסטראידים. הגדול נמצא בהר יעלון (נ.צ. 1605/9452 - רשת ישראל). עובי המחשוף במקום הוא כ-20 מ' ואורכו כ-800 מ' (ציור מספר 3).

תופעת ביוהרמים של אוסטראידים בחתך הטנוני תוארה בהרחבה על ידי ברטוב ושטייניץ (1982) במקומות שונים בנגב ובטיני. כן מוכרת התופעה במדבר יהודה ותוארה על ידי פלכטר (1964) באיזור צפת. ראוף (1967) מציין המצאות ביוהרמים דומים בעבר הירדן.

מיקומו הסטרטיגרפי של הביוהרם בנחל יעלון הוא בחלקו העליון של יחידת הצור העיקרי ובבסיס יחידת הקירטון השלישי. עם זאת נראה שעמדתם הסטרטיגרפית של הביוהרמים משתנה מאתר לאתר. באיזור תמד הביוהרם ממוקם נמוך יותר סטרטיגרפית (בפרט החוארי); באיזור המישר הוא גבוה יותר (מעל לצור העיקרי). במדבר יהודה ובצפת, מיקום הביוהרמים דומה לזה שבנחל יעלון.

במספר מקומות בנחל יעלון נמצאו אופקי אוסטראידים בעובי 20-40 ס"מ בעמדה סטרטיגרפית דומה לזו של השוניות. אופקים אלה הנם בעלי אופי עדשתי ונעלמים לצדדים אל בין שכבות הצור העיקרי.

השונית המתפתחת בהר יעלון היא "שונית כפתור" - בסיס הכפתור הביוהרמלי מונח על אופק דק של פוספוריט מצורר.

השונית מורכבת מגלעין - מסיבי - (Reef core) ומשוליים משוכבים - (Reef talus). גלעין השונית בנוי מקליפות שלמות של Lopho sp. כשהן ארוזות בצפיפות ונמצאות במצב גידול. הקליפות מלוכדות על ידי פרגמנטים ביורודיטים וקליצט ספרי. בקטע זה מגיעה השונית לעוביה המקסימלי.

הריף טלוס מתאפיין בשיכוב צולב (נטיית עד 20 מעלות) ומורכב מכמות גדולה של שברי קליפות אוטטראידיים. חלק זה של השונית הולך ומתיתך לתוך שכבות הצור העיקרי ומתאבצב אתן.

בקליפות האוטטראות ניתן להבחין בפעולות נבירה נרחבת. חללי הנבירה, כמו גם הרווחים שבין שברי הצדפות ממלאים בספריט אנהדולי עשיר בחומר אורגני (ריח חזק של H_2S). קורץ אנהדולי גדל לעתים בחללי הנבירה.

היבטים טקטוניים

האיזור נמצא בשולי בקע הערבה כאשר מבחינה מורפוטקטונית ניתן לחלקו לשניים: החלק המזרחי המתאפיין במתלול העחקים ואי-התאמות ומבוחר על ידי מערכת נחלים שכונת מזרח-מערב, ואילו החלק המערבי הנו במה שטוחה (חלק מרמת הנגב הדרומי) המבוחרת על ידי נחלים אחדים שכונתם לצפון-מערב.

באיזור הר יעלון קיימים שלושה כיווני ליניאמנטים טקטוניים שחלקם מתבטא בשבירה; הכוון השליט $N 30^{\circ} - 40^{\circ} E$, מיוצג על ידי שוליו המערביים של הבקע באיזור; ליניאמנטים בכוון צפון-דרום מיוצגים על ידי גראבן היעלון. הכוון של $N 30^{\circ} W$, מיוצג בעיקר על ידי מערכות סדוק צפופות ועל ידי שברים קטנים.

גרבן יעלון והגבעות השחורות

כיוונו הכללי של גרבן יעלון הינו צפון-דרום ואורכו כ-5 ק"מ. אלמנט טקטובי זה מתחלק ל-3 חלקים. בחלק הצפוני, באזור הר יעלון, מובחן שבר בודד המוריד בכ-20 מ' את הצד המזרחי; לאורך השבר עדויות להסטה אלכסונית שמאלית. העתק זה מעמיד את גג ריף האוטטראות מול בטיסו.

החלק המרכזי הינו גרבן צר, כ-100 מ' רוחבו, ולפחות בקירו המזרחי עדויות להסטה שמאלית. בתוך גרבן קיים סיבוב טקטוני משני המתבטא בנטיית מקומיות חזקות ובהעתקות נוספות של פלחים צרים. שיעור הזריקה הסטרטיגרפית מתחזק לכ-50 מ' (גג תצורת ציחור מול היחידה השניה - החוארית חרסיתית - של תצורת סייירים). חלקו הדרומי של הגרבן הוא מפושק כלפי מזרח. שיעור ההעתקה הסטרטיגרפית גדל (מעל 100 מ') והוא מציב את הצור (היחידה החמישית של תצורת סייירים) מול גג הציחור.

בין החלק המרכזי לדרומי של הגרבן, מופיעה קבוצת גבעות שחורות הנמצאות בתוך הגרבן ועל כתפיו. בטיסן של גבעות אלה מורכב משתי היחידות הראשונות של תצורת סייירים וגגן בנוי מקונגלומרט שעוביו מטרים אחדים. הקונגלומרט בנוי ממרכיבים אוטוכטוניים (צור מקומי, שיברי ריף האוטטראות, בולבוסיס, קרטון, פוספוריט מצורר וגירים מתצורות ציחור וגרופית) וממרכיבים אלוכטוניים (קורציט, קורץ - פורפיר, גרניט, צור יבוא וגיר נומוליטי). דומה ועיקר תפוצתם של המרכיבים האלוכטוניים הנו בבטיס היחידה. החלוקים בעלי מיון גרוע, עגוליות בינונית עד טובה. במקומות הקונגלומרט הוא תמוך גרגר ובמקומות תמוך מטריסט.

גבעות הקונגלומרט מועתקות בהעמקי מדרגות באותו שיעור כמו יחידות תצורת סייירים ולפיכך יצירתו של הקונגלומרט קדמה לפעילות הטקטונית באזור. הקונגלומרט מונח באי התאמה על מישור ארוזובי קדום של היחידה השניה של תצורת סייירים.