

כיצד משפיעים שינויי האקלים על הימות הגדולות?

מאמר מעובד ומתורגם מתוך *Science Journal for Kids* :

<https://www.sciencejournalforkids.org/articles/how-does-climate-change-affect-the-great-lakes/>

מאמר מקורי :

O'Beirne, M., Werne, J., Hecky, R. et al. Anthropogenic climate change has altered primary productivity in Lake Superior. *Nat Commun* 8, 15713 (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms15713>

תקציר

יש הסכמה בקרב המדענים שפעולות האדם, כגון שריפת דלקים מאובנים, גורמים לאטמוספירה של כדור הארץ ללכוד חום רב יותר, המוביל לשינויי האקלים. רצינו לגלות כיצד שינויי האקלים משפיעים על אגמים ומקורות מים מתוקים גדולים. לכן, אספנו מספר גלעיני משקעים בימת סופריור (הגדולה מבין "הימות הגדולות" של צפון-אמריקה), במטרה לחקור דוגמיות בוץ מקרקעית האגם. במעבדה, ניתחנו חתיכות קטנות של צמחים מתים ואצות שנלכדו בין משקעי האגם. מדוגמאות אלו, הצלחנו לזהות שכמות האצות במי ימת סופריור עלתה בקצב איטי ולאורך זמן רב. עם זאת, במאה השנים האחרונות, קצב העליה התגבר באופן משמעותי. אנו משערים כי שינוי קיצוני זה התרחש כתוצאה משינויי אקלים ועליית הטמפרטורה הנובעים ממעשה ידי אדם, שהובילו לתקופות ארוכות יותר ללא קרח באגם. כתוצאה מכך, אצות וצמחים הגדלים במים, גדלו במשך תקופה ארוכה יותר, ולכן כמותם באגם עלתה מאד.

לפני שמתחילים

1. ימת סופריור נמצאת בצפון אמריקה, בין ארצות הברית לקנדה. פירוש המילה superior הוא עליון או מעולה. חפשו מידע על הימה, וכתבו שלוש עובדות מעניינות שמצאתם לגביה.

2. במחקר זה אספו גלעיני משקעים (גלילי בוץ אותם מחלצים באמצעות קידוח, ראו תמונה) על מנת לחקור דוגמיות בוץ מהאגם.

כיצד אוספים גלעיני משקעים? צפו בסרטון [שבקישור](#), בו נראה צוות מחקר ימי אוסף דגימה מקרקעית הים. מה לדעתכם ניתן ללמוד מבדיקות של גלעיני המשקעים?

3. במחקר זה, מדענים השתמשו בגלעיני משקעים כדי לבחון את השינויים בכמויות של אצות וצמחים אחרים בימה. עם זאת, גם חומרים שעפים באוויר נופלים עם הזמן למים והופכים למשקעים. שערו: מה עוד ניתן ללמוד ממחקר של גלעיני המשקעים?

4. לעלייה בכמות האצות יכולות להיות השפעות שונות על המערכת האקולוגית. על אילו גורמים ביוטים וא-ביוטים יכולה העלייה בכמות האצות להשפיע? הסבירו כיצד.



גלעין משקעים שנאסף מאגם. מקור התמונה [National Science Foundation](#)

הקדמה

מאז שבני האדם הגבירו מאד את שריפת הדלקים הפוסיליים, משתחררות כמויות הרבה יותר גדולות של גזי חממה כמו פחמן דו-חמצני אל האטמוספירה, כדור הארץ מתחמם והאקלים שלנו ממשיך להשתנות.

כיצד משפיעים שינויים אטמוספריים אלו על האקולוגיה של גופי מים מתוקים גדולים, המשמשים בתי גידול חשובים למינים רבים של יצורים חיים, ומספקים מי שתייה חיוניים לאנשים רבים?

כדי לענות על שאלה זו, ביצענו מחקר בימת סופריור. ימה זו היא בעלת שטח הפנים הגדול ביותר מכלל גופי המים המתוקים בכדור הארץ, הנחשבת לבראשיתית יחסית (ראה איור 1)

כדי לבחון את השינויים שהתרחשו במהלך הזמן בימת סופריור, נדרשנו לדעת מה היה מצבה בעבר. למזלנו, מהמשקע הבוצי בתחתית הימה, המכונה **סדימנט**, ניתן ללמוד על היצורים שחיו אי פעם במים. כאשר אצות וצמחים זעירים (פיטופלנקטון) מתים במים, הם שוקעים לקרקעית האגם ומצטברים שם.

כפי שעל שולחן מבוולגן מונחים ניירות חדשים מעל ישנים, כך גם לקרקעית שכבות רבות של משקעים כאשר השכבות החדשות מצטברות מעל הישנות. השוואת דגימות שנלקחו במהלך השנים מממשקעים אלה עוזרת לנו להבין כיצד האקולוגיה של הימה השתנתה לאורך זמן. תחום זה במדע נקרא **פלאו-לימנולוגיה** (פלאו - עתיק לימנולוגיה – חקר גופי מים יבשתיים, כלומר חקר ההיסטוריה הטבעית של אגמים).

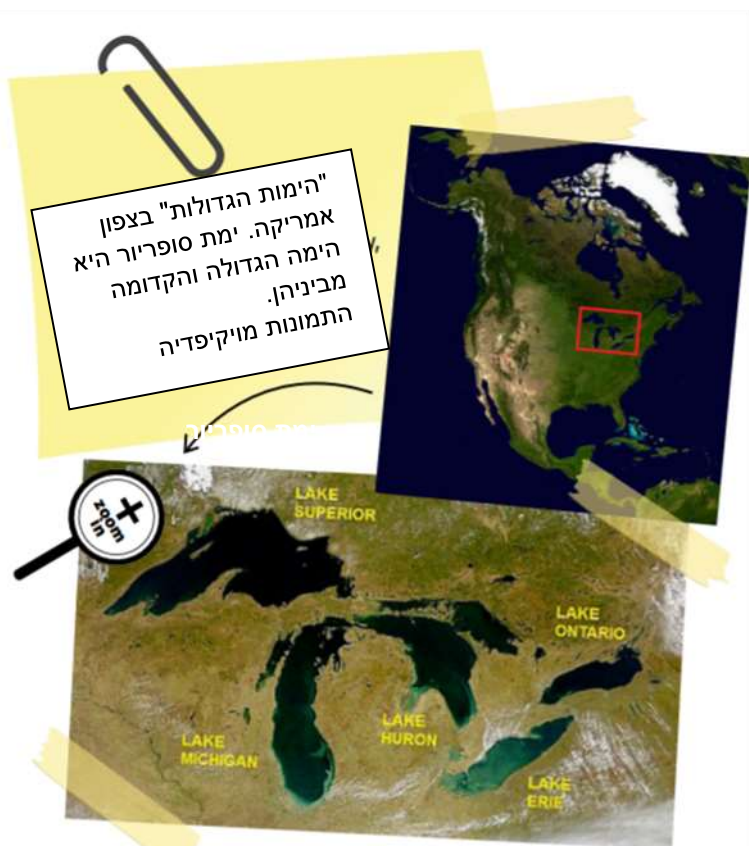
ענו על השאלות

5. ימת סופריור, נחשבת לבראשיתית באופן יחסי. **שטח טבע בראשיתי** (באנגלית Wilderness) הוא שטח טבעי טהור, שלא הושפע מפעילות אנושית. נכון ל-2019 יש 767 אזורים המוכרזים כאזורי טבע בראשיתי בארה"ב, בשטח כולל של כ-4.5% משטחה של ארצות הברית (ויקיפדיה).

האם להערכתכם יש שטחי טבע בראשיתי גם בישראל? חפשו דוגמה לשטח טבע בראשיתי בישראל.

6. **סדימנט** הוא משקע. כאשר חוקרים משקעים שנדגמו מהקרקעית לאורך זמן ניתן ללמוד על ההיסטוריה של הים או האגם.

האם אתם מכירים שיטות אחרות, בתחומים אחרים, לחקור השתנות לאורך זמן?



איור 1 - הימות הגדולות של צפון אמריקה. ימת סופריור היא הגדולה והבראשיתית מכולן, שם ביצענו את המחקר שלנו.

7. כיצד מדענים יכולים ללמוד על ההיסטוריה האקולוגית של אגם מתוך מחקר של המשקעים שלו?

שיטות

יצאנו לכמה הפלגות של מספר ימים, עם מכשיר לדגום גלעיני משקעים (דגימות בצורת גליל) מאתרים שונים בקרקעית ימת סופריור. (איור 2,3)



A)



B)



נזמים שונים בימה, המסומנים במשולשים שחורים.

איור 2 - A. ספינת המחקר שלנו "R/V Blue Heron"

B. צוות של מדענים וטכנאים ימיים ממצפה הימות הגדולות ואוניברסיטת פיטסבורג דוגמים מספר גלעיני סדימנט מימת סופריור, בעזרת מכשיר רב גלעיני (יכול לדגום 4 דגימות בו זמנית).



רצועה ירוקה

על מנת לאסוף גלעין סדימנט (משקע), הורדנו צינור פלסטיק שקוף לקרקעית הימה ודחפנו את כולו אל תוך הבוצה. לאחר מכן, סגרנו את חלקו העליון של הצינור על מנת ליצור ניקה, שכלאה את המשקעים בתוכו, והעלנו את המכשיר חזרה אל הספינה (איור 4). תהליך זה דומה לשאיבת גלידה מתוך מילק-שייק: מחדירים את הקשית (שפועלת כמו צינור הפלסטיק) אל תוך הגלידה (משקעי האגם). אוטמים עם האצבע את הפתח העליון של הקשית (בדומה למכסה של הפתח העליון של הצינור שנועד ליצור ניקה ולכלוא את המשקעים), ולאחר מכן מוציאים את הצינור עם הגלידה (משקעי האגם) שהיתה בתוך המילק-שייק.

לאחר חילוץ הסדימנט, הקפאנו את הגלעינים (כדי שהחידקים בדגימות לא יתרבו וישנו את הרכב הבוצה), ולקחנו אותם למעבדה.

איור 4 - גלעין סדימנט שאספנו קרוב לחוף של הפארק הלאומי "Split Rock Lighthouse" במינסוטה. שימו לב לשינויים בצבעים בין השכבות השונות של המשקעים. בגלעין זה, הרצועה הירוקה העבה מורכבת מפסולת ממכרה של סלע טאקוניט שנסטף לאגם באמצע המאה ה-20. מתחתיו, משקעים "רגילים" מאיזור זה מלפני התערבות האדם בימה. בחלקו העליון של הגלעין, המשקעים החומים/אדומים הושפעו במידה מסוימת על ידי בני האדם אך לא כמו הרצועה הירוקה מתחתיו.

שם, בדקנו את הצורות השונות של אטום הפחמן המכונות **איזוטופים**, הנמצאות לאורך גלעין הסדימנט שנדגם מקרקעית הימה. שיטת בדיקה זו מאפשרת לנו לדעת את כמות האצות והפיטופלנקטון שחיו באגם בכל זמן נתון.

להעשרה

- מיהו היסוד פחמן ומה חשיבותו? תוכלו לקרוא [כאן](#)
- מהם איזוטופים? צפו בסרטון [שבקישור](#)
- על האיזוטופים פחמן-12, פחמן-13 ופחמן-14 – צפו [כאן](#)

תוצאות

בשני הגרפים (איור 5) ניתן לראות את ההשתנות במהלך אלפי שנים במדדים שונים של גלעיני הסדימנט שנדגמו בימת סופריוור.

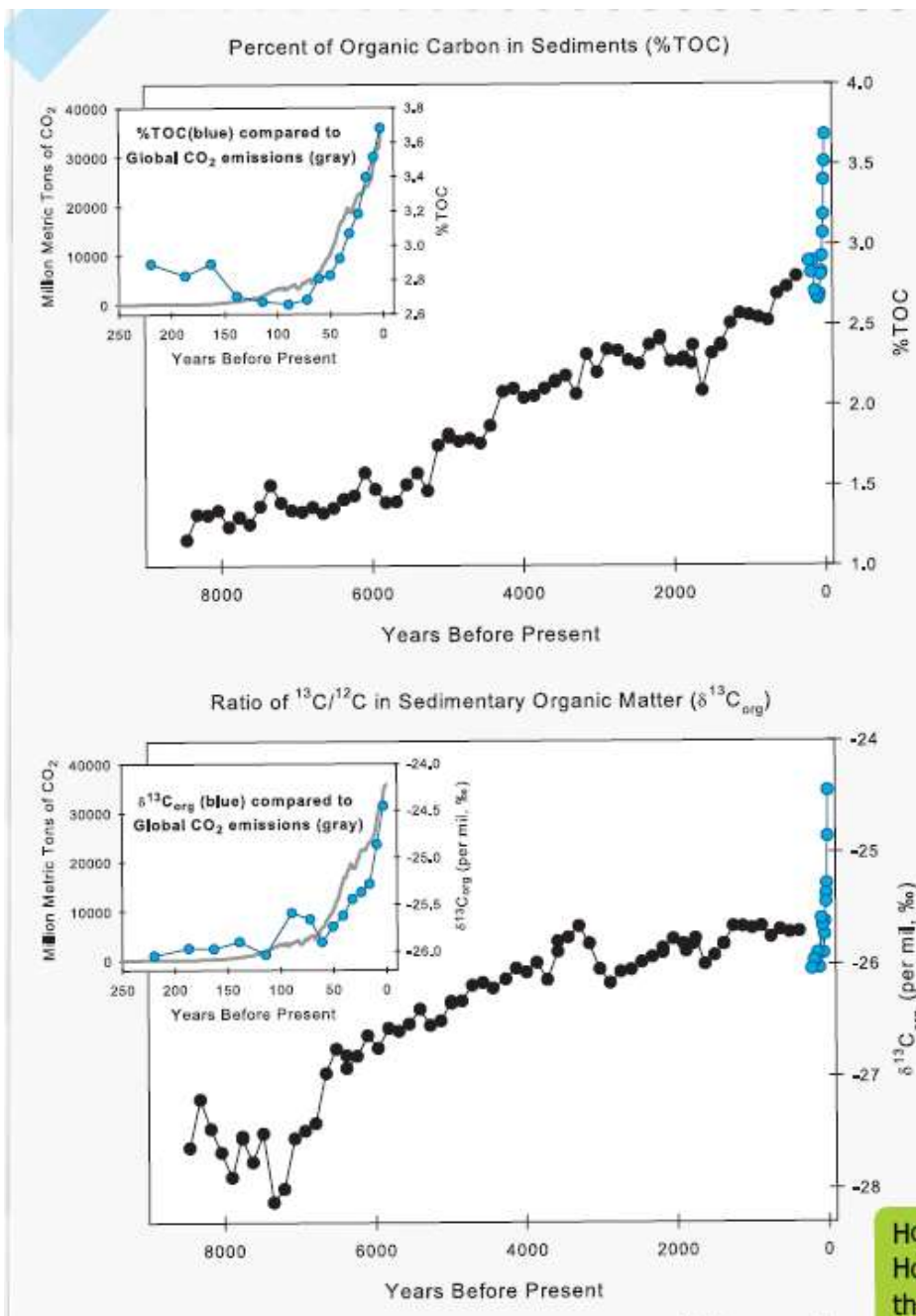
ציר X הוא ציר הזמן. שימו לב: השנים הקדומות יותר נמצאות משמאל והתקדמות ימינה מסמלת התקדמות בציר הזמן עד זמן 0 שהוא ההווה.

נקודה בצבע כחול מסמנת סדימנט שנוצר בתחתית הימה לאחרונה (מלפני 200 שנה ועד היום).

ציר Y עליון: Total TOC (Organic Carbon) – אחוז הפחמן האורגני הכולל. זהו אחוז המשקעים שמקורם ביצורים חיים (כמו פיטופלנקטון ואצות) מתוך סך כל הבוצה שבדגימה.

ציר Y תחתון: יחס פחמן-13/פחמן-12 שנמדד בחומר האורגני מתוך הסדימנט ששמקורו ביצורים שחיו במים. היחס מכונה $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ("דלתא" פחמן-13 אורגני) ומבוטא ביחידות של פר-מיל (%). חלקים לאלף.

בגרפים ניתן לראות שינויים בגלעיני סדימנטים המעידים על עלייה בכמות יצורים המכילים פחמן כמו אצות ופיטופלנקטון בימת סופריוור במהלך 9,000 השנים האחרונות.



איור 5: השתנות המשקעים בימת סופריוור לאורך השנים

אחוז ה-TOC (Total Organic Carbon) בגרף העליון, והיחס פחמן-13/פחמן-12 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) בגרף התחתון הם מדדים לכמות הפיטופלנקטון והאצות באגם.

בכל גלעיני הסדימנט שחקרנו, מצאנו שכמות האצות והפיטופלנקטון שחיו בימה, עלתה באופן איטי והדרגתי במהלך השנים מאז היווצרותה, עד שנת 1900.

במאה ה-20, כמותם עלתה באופן חד וחריג (איור 5). גידול זה היה משמעותי בהרבה מכל תנודה בכמות החיים באגם בעשרת אלפים השנים הקודמות!

הגרפים הפנימיים הקטנים מראים את כמויות הפחמן שנמדדו בימה (בכחול) בהשוואה לכמויות הפחמן הדו-חמצני העולמיות (באפור) שנפלטו לאטמוספירה ב-250 השנים האחרונות.

האם אתם רואים את הקשר?

כיצד העלייה בכמות האיזוטופ פחמן-13 ($\delta^{13}\text{C}$) מספרת לנו על גידול אצות/פיטופלנקטון?

כדי להבין זאת, חשוב להבין שאצות ופיטופלנקטון אינם מעדיפים את שני האיזוטופים של הפחמן באותה מידה. חשבו על שני סוגי האיזוטופים השונים של הפחמן: פחמן-13 (^{13}C) ופחמן-12 (^{12}C) כמתקים במשלוח מנות. הממתק האהוב עליכם, זה שתתפסו ברגע שנפתח המשלוח הוא כמו פחמן-12 עבור האצות והפיטופלנקטון – הם ממש מעדיפים פחמן-12! אך ברגע שהמתק האהוב עליכם נגמר, תתחילו לאכול את הממתק שאתם פחות אוהבים, שהוא כמו פחמן-13 עבור האצות והפיטופלנקטון. עבורם, פחמן-13 הוא רק "סביר". לכן, כשהאצות והפיטופלנקטון גדלים, הם נאלצים לצרוך יותר ויותר פחמן-13. אנחנו יכולים לזהות את הכמויות הגדלות של פחמן-13 במשקעים שלנו, אפילו מאות שנים לאחר שהאצות והפיטופלנקטון שהרכיבו אותן אכלו וגם מתו - די מגניב! כאשר יש מחסור בחומרי הזנה, היצורים החיים נאלצים להסתפק גם בפחמן-13, עקב מחסור יחסי בפחמן-12.

ענו על השאלות

8. א. מהם המדדים שנבחרו על מנת לבטא את כמות האצות והפיטופלנקטון שחיו בימה?
ב. כיצד מבטאים מדדים אלו את כמות האצות והפיטופלנקטון שחיו בימה?

9. בגרפים ניתן לראות גידול הדרגתי באחוז הפחמן הכולל ובפחמן-13 במהלך השנים. מה עשוי לגרום לגידול ההדרגתי בכמות האצות והפיטופלנקטון שחיו בימה?

10. בגרפים הקטנים ניתן לראות התאמה בין השתנות כמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה לכמות הפחמן בדגימות הקרקעית בימה.

א. האם ניתן לקבוע שיש קשר ביניהם, כלומר, שכמות הפחמן בדגימות הקרקעית בימה עלתה כתוצאה מעלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה? נמקו את קביעתכם.
ב. אם לא, העלו השערות – אלו גורמים אחרים יכלו לגרום לעלייה בכמות הפחמן בקרקעית הימה?

דיון

הגידול ההדרגתי במספר האצות והפיטופלנקטון שחיו בימת סופריוור, נגרם ככל הנראה בשל תוספת חומרי הזנה (נוטריינטים) הנחוצים להם לגדילה, שמקורם בסלעים שהתפוררו באיטיות אל תוך המים. הגידול המשמעותי במספר צמחי המים הללו בימת סופריוור במהלך 100 השנים האחרונות, התרחש במקביל לעלייה בכמות גזי חממה שמקורם בפעילות אנושית ושינויי האקלים. מדענים אחרים מצאו ששינויי האקלים האלו גרמו לחימום פני המים של הימה, ויצירת פרקי זמן ממושכים יותר ללא כיסוי קרח.

המחקר שלנו תורם להבנה של השפעת שינויי האקלים, שכן מצאנו עליה בכמות האצות והפיטופלנקטון בימה במקביל לעלייה בטמפרטורה ולירידה במשך זמן הקיפאון של פני הימה. מכך אנו מבינים שאפילו ימה ענקית וטהורה כמו ימת סופריוור אינה חסינה מפני השפעות האקלים המשתנה.

שינויים באצות ופיטופלנקטון הם בעלי משמעות רבה עבור האקולוגיה של הימה. דגים ובעלי חיים גדולים יותר תלויים בצמחים אלו כמקורות מזון, כך שכל שינוי במארג המזון, סביר שיובייל לתגובת

שרשרת. עם זאת, איננו יכולים לקבוע עדיין אם שינויים אלו יגרמו לאוכלוסיית הדגים לשגשג או להיפגע. בנוסף, ימת סופריור היא הראשונה בשרשרת המחוברת של "הימות הגדולות". בגלל החיבור הפיזי בין האגמים, כל שינוי במערכת האקולוגית בתוך הימה בוודאי ישפיע על הימות הגדולות האחרות בשרשרת: ימת מישיגן, ימת היורון, ימת אירי וימת אונטריו.

ענו על השאלות

11. כיצד העלייה בפחמן הדו-חמצני באטמוספירה במאה השנים האחרונות גרמה לעלייה במספר האצות והפיטופלנקטון שחיו בימה?

12. לאחר שלמדתם ששינויי אקלים הביאו להתרבות מואצת של אצות ופיטופלנקטון בימת סופריור, ייתכן שיש לכם שאלות בנוגע למשמעות התופעות הללו עבור אנשים שתלויים בימה להפקת מזון, מים ותחבורה.

הציעו שאלות שכדאי יהיה לחקור על מנת להבין בצורה טובה יותר איך עלייה בכמות האצות והפיטופלנקטון יכולה להשפיע על אוכלוסיית בני האדם הסביבה.

13. האם העלייה בכמות האצות והפיטופלנקטון בימה היא בהכרח תופעה שלילית? שערו מה עשויים להיות היתרונות של עלייה זו.

סיכום

המחקר שלנו מראה שלשינויי האקלים שנגרמו על ידי בני האדם יכולות להיות השפעות דרמטיות אפילו באזורים שאנחנו מעריכים כבראשיתיים. למרות זאת, חשוב לזכור שמידת ההתחממות בעתיד תלויה בפעולות שלנו כיום, כלומר עד כמה חברות אנושיות ימשיכו לשרוף דלקים מאובנים. הפחתה בצריכת חשמל (בעזרת כיבוי אורות ומכשירי חשמל שאינם בשימוש) והפחתה בשימוש בדלקים (בעזרת הליכה ברגל או שימוש באופניים על פני נסיעה במכונית) עשויים לעזור להפחית את פליטת גזי החממה הקשורים באורח החיים שלנו.

משימה

רשמו כמה שיותר פעולות שניתן לעשות בבית, בבית הספר, ביישוב ובמדינה על מנת להפחית את גזי החממה.

בבית	בבית הספר	ביישוב	במדינה

מונחון

איזוטופים – צורות שונות של אותו יסוד. כולן זהות במספר פרוטונים בגרעין, אך נבדלות במספר נויטרונים. לפחמן לדוגמה קיימים בטבע שלושה איזוטופים: פחמן-12, פחמן-13, ופחמן-14. לכולם 6 פרוטונים, אך 6, 7, 8 נויטרונים בהתאמה.

אצות – צמחים ירודים החיים בתוך או בקרבת מים. הן מבצעות פוטוסינתזה כמו כל הצמחים, אך לא בנויות כמו צמחים ביבשה להם יש שורש, גבעול, עלים ופרחים.

אקולוגיה – מדע החוקר את יחסי הגומלין, את האורגניזמים השונים ואת יחסי הגומלין בין האורגניזמים לסביבה הדוממת.

בראשיתי – לא מזוהם, טהור, לא מושפע על ידי פעילות אנושית.

גז חממה – גז באטמוספירה שבולע את קרני השמש והופך אותם לחום שמצטבר באטמוספירה. העלייה בפליטה של גזי החממה, כולל פחמן דו-חמצני, לאטמוספירה גורמת לעליית הטמפרטורה ולשינויי אקלים בכדור הארץ.

גלעין משקעים (גלעין סדימנט) – דוגמית בצורת גליל של משקע, המציגה את ההיסטוריה של הצטברות המשקעים בקרקעית אגם. הסדימנטים העתיקים יושבים בתחתית הגלעין בעוד החדשים ביותר נמצאים בחלקו העליון.

מארג מזון – תיאור המייצג את מעברי החומרים והאנרגיה בין יצורים חיים בבית גידול. סך כל שרשרות המזון שהאנרגיה מועברת באמצעותן מהיצרנים אל הצרכנים ואל המפרקים והקשרים ביניהן.

פחמן – יסוד נפוץ מאוד בטבע. הוא אחד המרכיבים של החומרים האורגניים המרכיבים את כל היצורים החיים בכדור הארץ.

פחמן דו-חמצני – גז המרכיב כ-0.04% מהאטמוספירה. הוא נקלט על ידי צמחים המבצעים פוטוסינתזה, ונפלט בתהליך הנשימה התאית. פחמן דו-חמצני נפלט גם בשריפה של דלקים פוסיליים, ותורם (יחד עם גזים נוספים) להגברה של אפקט החממה.

פיטופלנקטון – יצורים מיקרוסקופיים שצפים או מרחפים במים. בקבוצה זו נכללים צמחים וחיידקים המבצעים פוטוסינתזה. לפיטופלנקטון חשיבות אקולוגית. מעריכים כי אוכלוסיית הפיטופלנקטון תורמת לאוויר העולם כ-50% מהחמצן.

פלאו-לימנולוגיה – מחקר של מאובנים וסדימנטים שמטרתו לשחזר את ההיסטוריה של אגמים.

סדימנט – משקע. חומרים ששקעו לקרקעית אגם או נוזלים אחרים.

שינויי אקלים – שינויים בדפוסים האקלימיים של גשמים וטמפרטורות שנגרמים על ידי פעולות אנושיות או כתוצאה מתהליכים טבעיים. מאז אמצע המאה ה-20 מתועדים שינויי אקלים גדולים המיוחסים לעלייה הגדולה בריכוז פחמן דו-חמצני באטמוספירה כתוצאה מהעלייה בשריפת דלקים על ידי בני אדם.