

Содержание

1. Биохимические палео-индикаторы в донных отложениях (=молекулярные биомаркеры)

Фотопигменты

ДНК микроорганизмов

Углеводороды

2. Магнитные свойства донных отложений

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Фотосинтетические пигменты в донных отложениях

Хлорофиллы:

Пигменты

Chl a }
Chl b } Зелёные растения, водоросли, цианобактерии
Chl c }

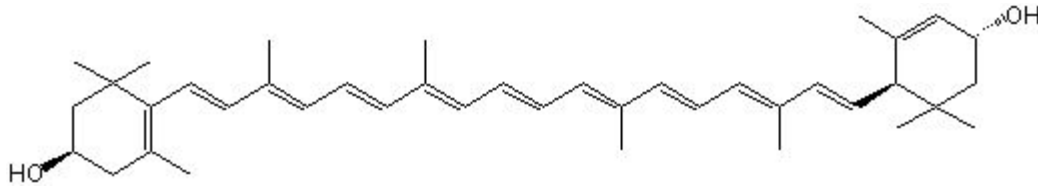
Бактериохлорофиллы:

Vchl a }
Vchl b } Фототрофные бактерии (кроме цианобактерий)
Vchl c }
Vchl d }
Vchl e }

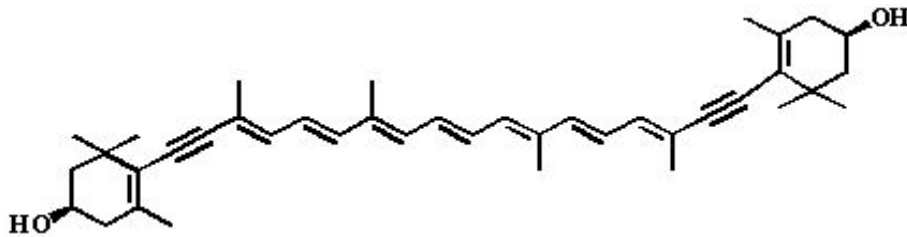
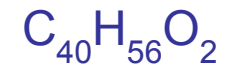
**Хл и Бхл относительно быстро разлагаются
в донных отложениях**

Основы палеолимнологии. Лекция-5

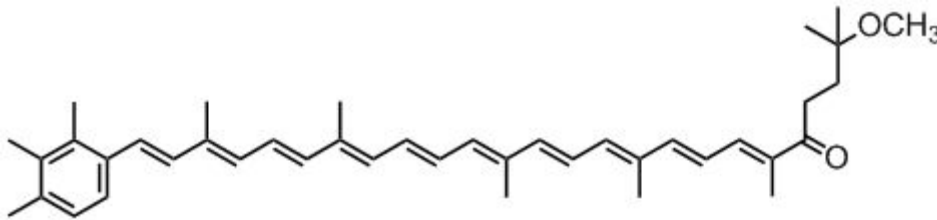
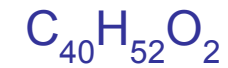
Примеры каротиноидов:



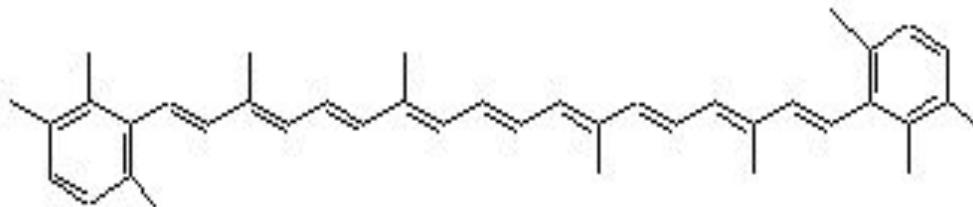
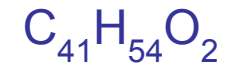
Лютеин



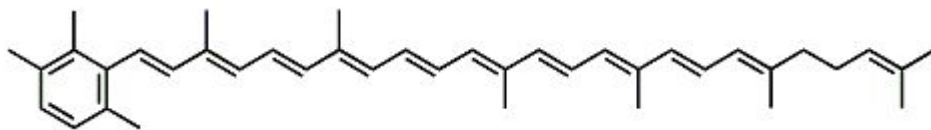
Аллоксантин



Окенон



Изорениерантин



Хлоробактин

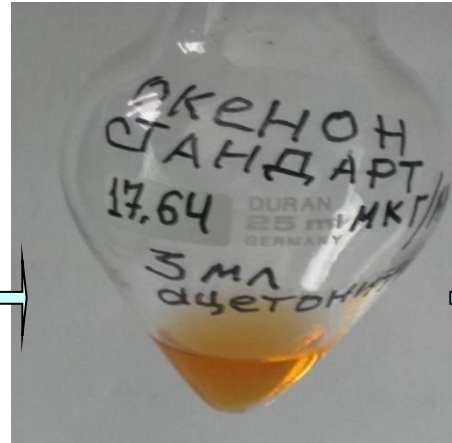
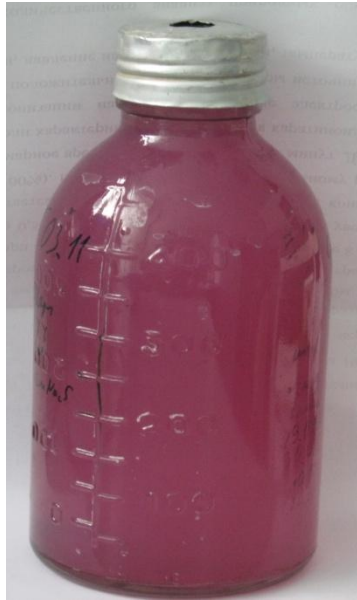
И многие другие

Основы палеолимнологии. Лекция-5

1. Аллоксантин ($C_{40}H_{52}O_2$) – пигмент криптофитовых водорослей.
2. Лороксантин ($C_{40}H_{56}O_3$) – зеленые водоросли (*Botryococcus braunii*).
3. Лютеин ($C_{40}H_{56}O_2$) – основной пигмент водорослей и высших растений
4. Зеаксантин ($C_{40}H_{56}O_2$) – пигмент цианобактерий
5. Окенон ($C_{41}H_{54}O_2$) – пурпурные серные бактерии

Выявлены методом высоко-эффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в донных отложениях оз. Шира (Рогозин, Зыков и др., 2011)

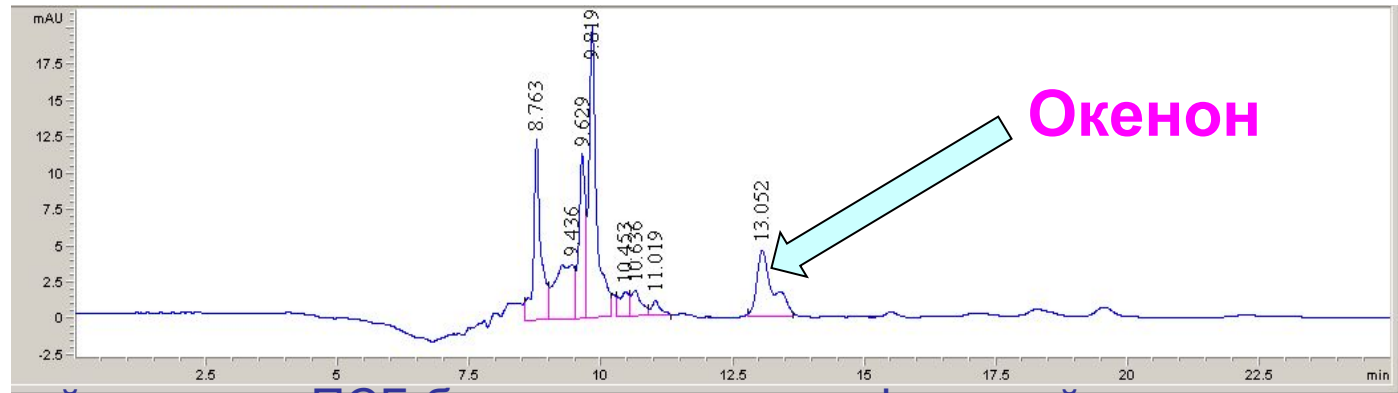
Основы палеолимнологии. Лекция-5



Стандарт **окенон**,
в ацетонитриле,
очищен методом ТСХ

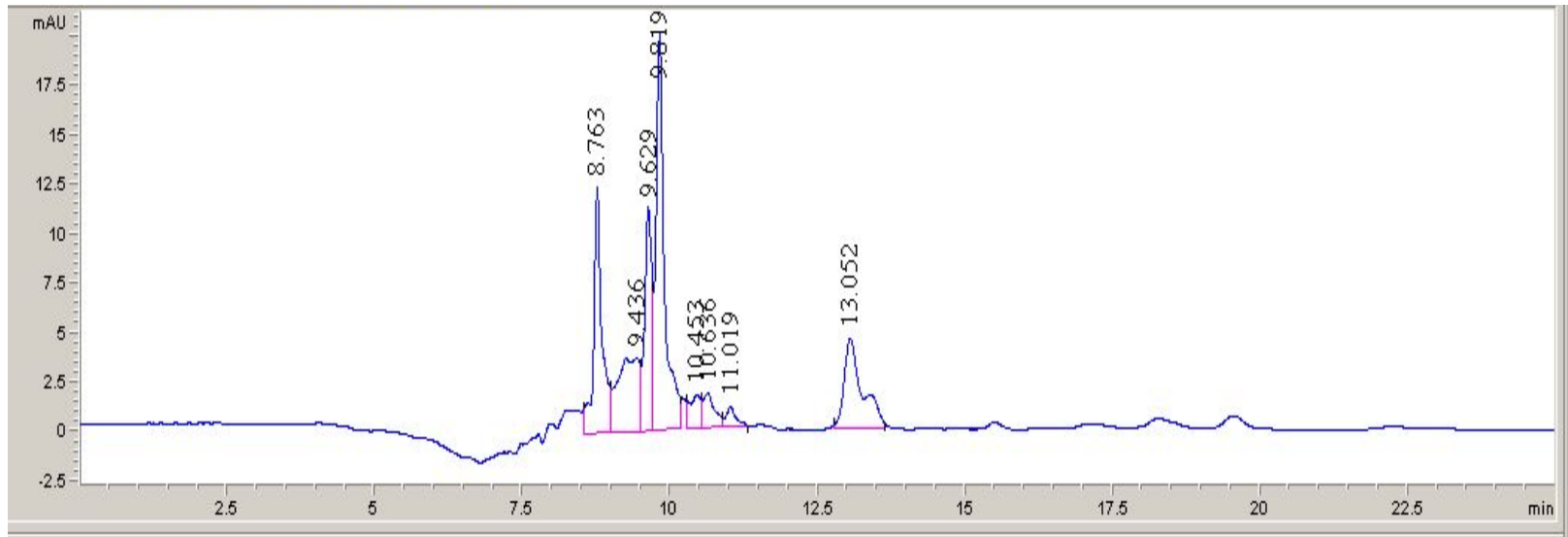
Высокоэффективная жидкостная
хроматография Agilent 1200 LC/MS
(США),

Чистая культура
пурпурных серных
бактерий
Thiocapsa sp. Shira_1

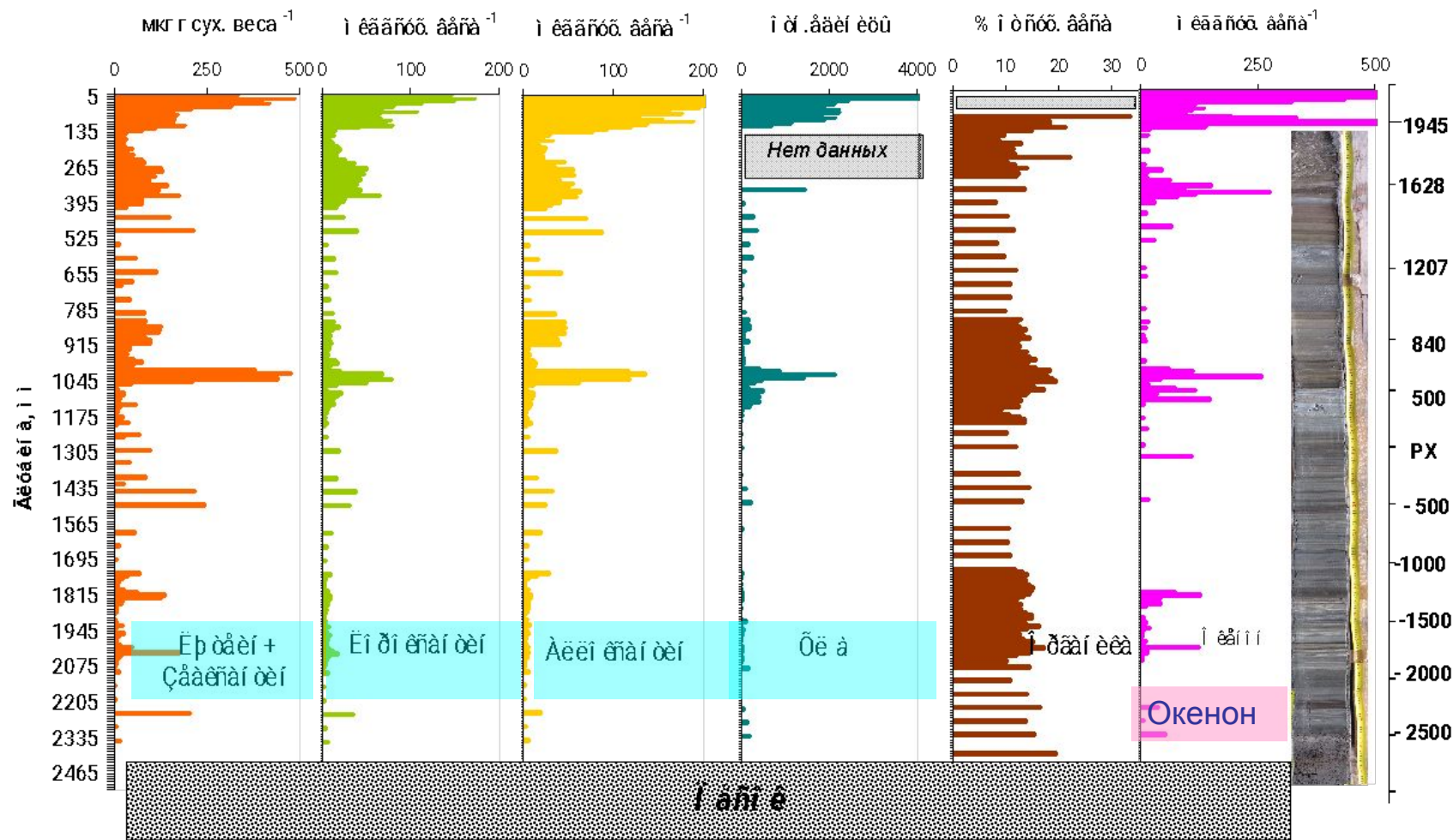


Из чистой культуры ПСБ был выделен специфический

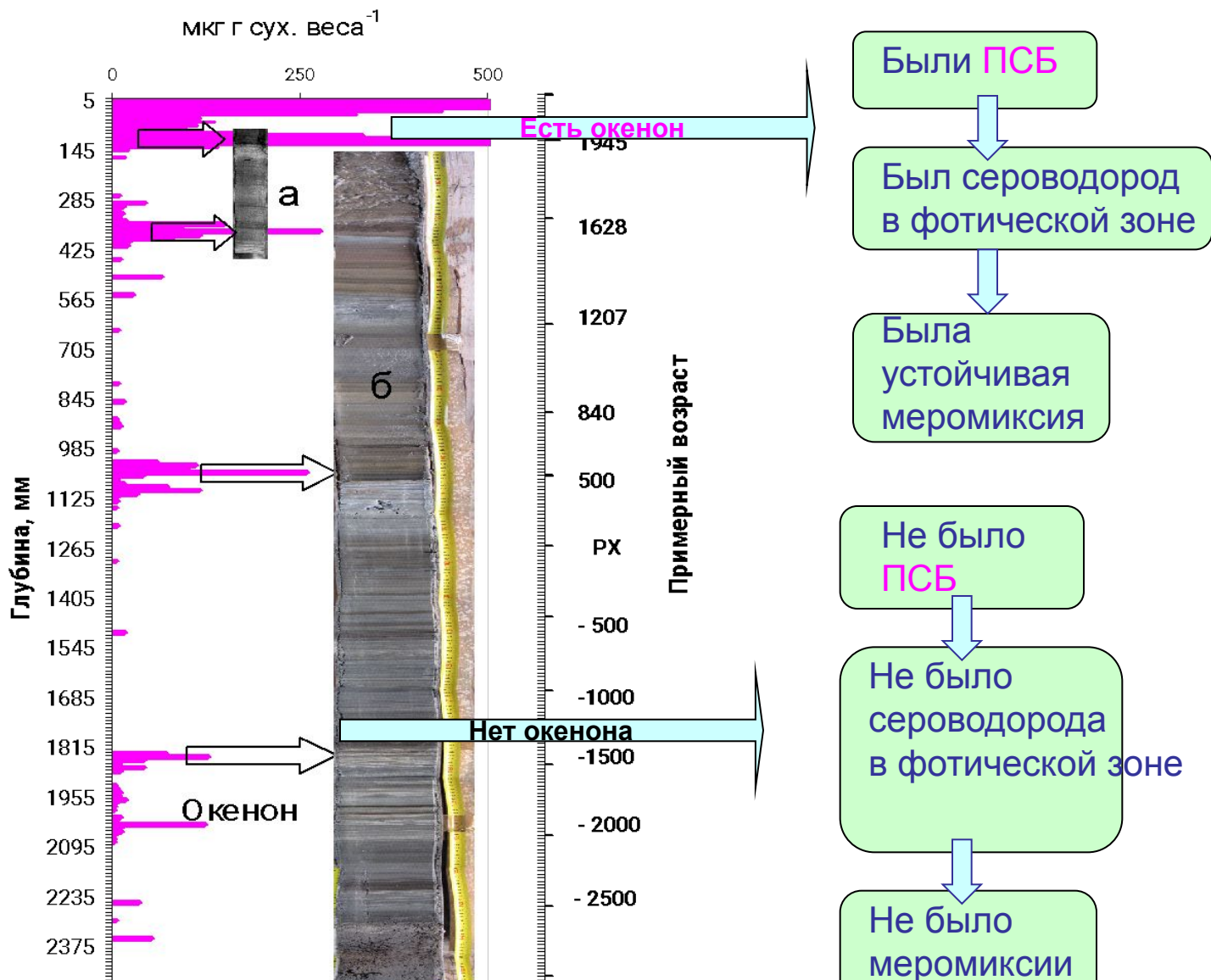
Хроматограмма экстрактов



| | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 8,75 мин | Аллоксантин | 9,82 мин | Зеаксантин |
| 9,44 мин | Лороксантин | 13,05 мин | Trans – окенон |
| 9,63 мин | Лютеин | 13,35 мин | Cis – окенон |

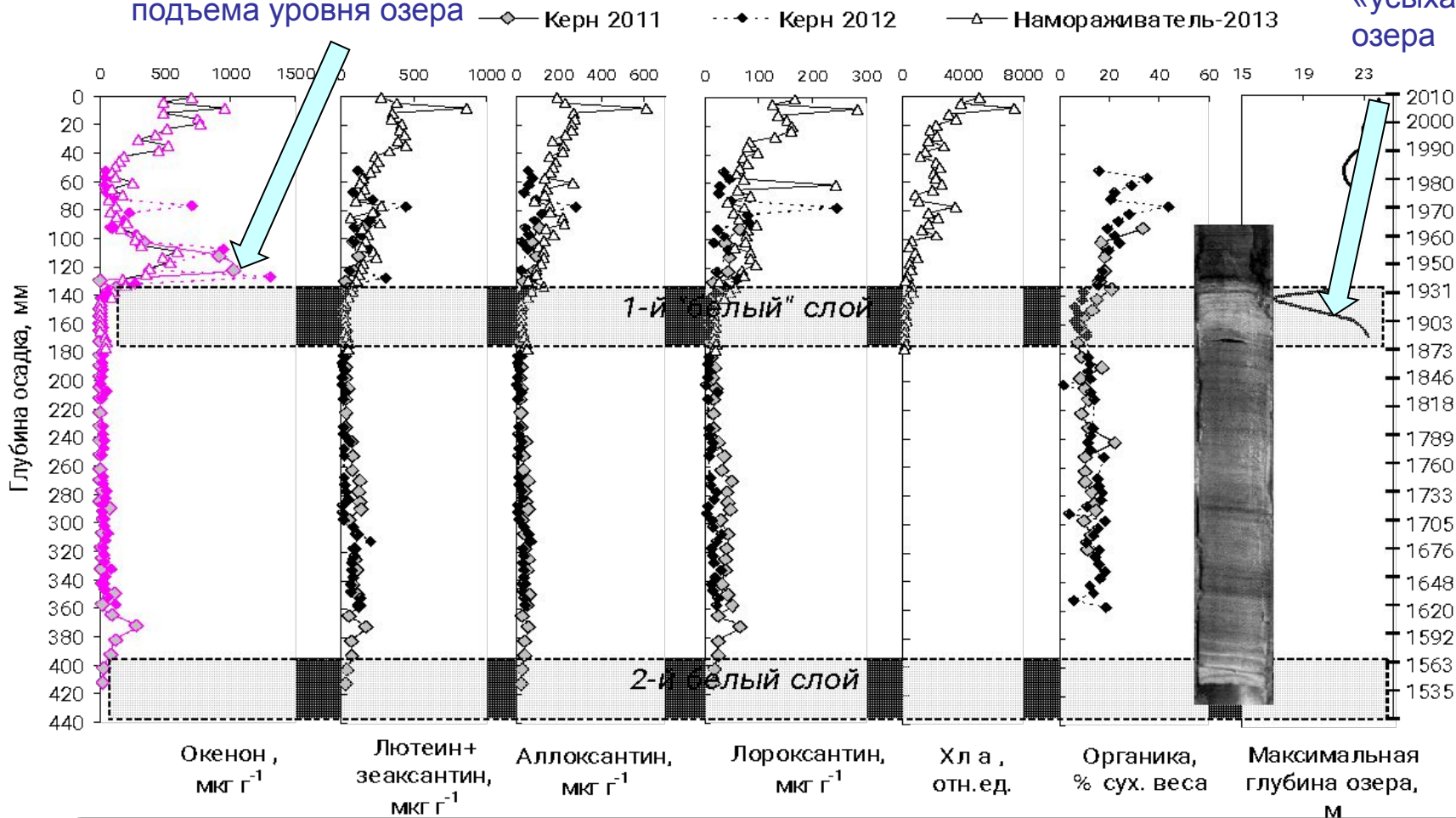


Обнаружено коррелированное неоднородное распределение пигментов окислительных фотосинтетиков и окенона в последние ~4500 лет. В отличие от прочих пигментов, окенон отсутствовал в некоторых слоях



Пик окенона после подъема уровня озера

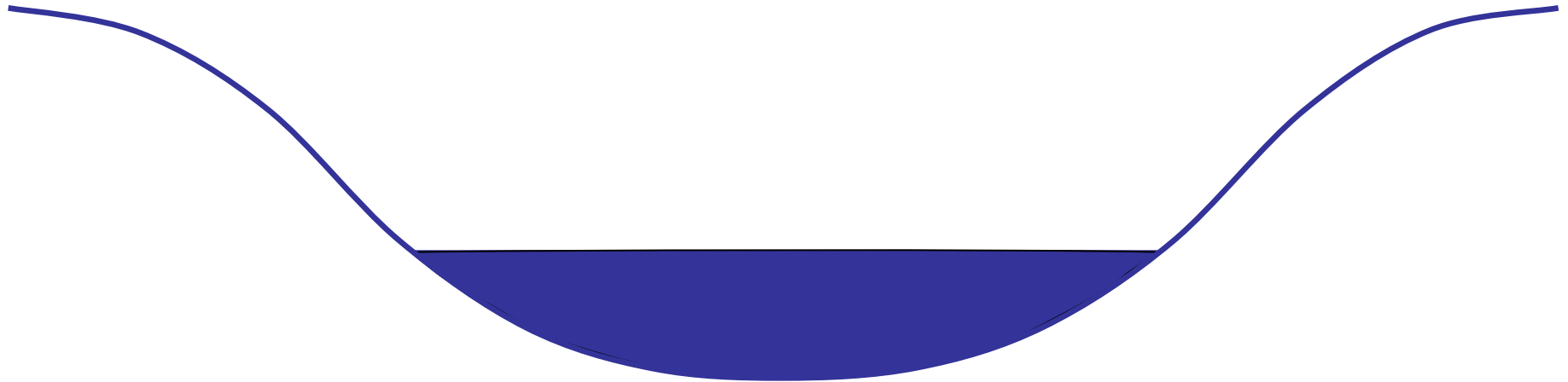
Период «усыхания» озера



Максимум окенона над «белым слоем» свидетельствует о наиболее благоприятных условиях для продукции ПСБ в период поднятия уровня озера (=устойчивая меромиксия)

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Гипотетическая схема связи режима стратификации водной толщи с экологией фототрофных серных бактерий при подъеме уровня воды



Мелкое голомиктическое озеро

Основы палеолимнологии. Лекция-5

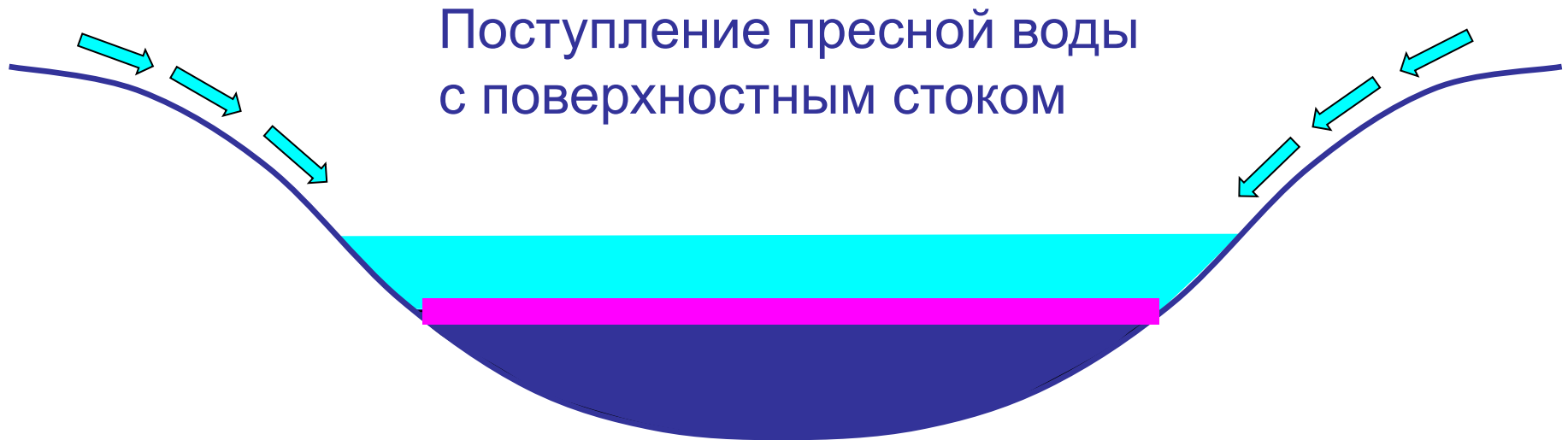
Гипотетическая схема связи режима стратификации водной толщи с экологией фототрофных серных бактерий при подъеме уровня воды



При повышении уровня за счет поверхностного стока озеро становится меромиктическим...

Основы палеолимнологии. Лекция-5

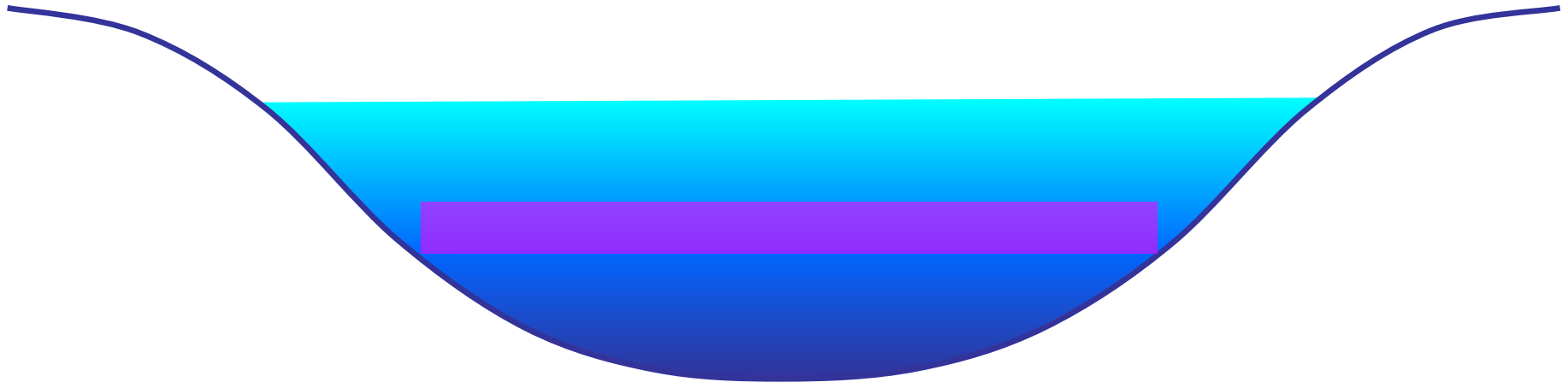
Гипотетическая схема связи режима стратификации водной толщи с экологией фототрофных серных бактерий при подъеме уровня воды



... и в нем появляются благоприятные условия для развития пурпурных серных бактерий: устойчивая редокс-зона, высокая освещенность в редокс-зоне (пример – оз. Шунет)

Основы палеолимнологии. Лекция-5

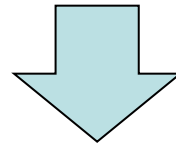
Гипотетическая схема связи режима стратификации водной толщи с экологией фототрофных серных бактерий при подъеме уровня воды



При дальнейшем повышении озера стратификация ослабевает, уменьшается количество света в редокс-зоне, снижается биомасса пурпурных серных бактерий (пример - современное оз. Шира)

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Каротиноиды фототрофных серных бактерий (**окенон**, **хлоробактин**, **изорениерантин**) позволяют выявить периоды присутствия сероводорода в фотической зоне водоема

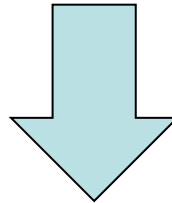


Можно реконструировать историю стратификации водоема, также его трофического статуса и т.п.

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Каротиноиды оксигенных (лютеин, зеаксантин, бета-каротин и пр.) организмов позволяют выявить периоды увеличения/уменьшения фотосинтетической продукции озера, а также соотношение планктонных групп (**зеленые/сине-зеленые**)

Пример: при эвтрофикации возрастает доля сине-зеленых водорослей
=> Увеличится отношение **зеаксантин/лютеин**



Можно реконструировать историю трофического статуса и пр.

1. Биохимические палео-индикаторы в донных отложениях

ДНК

На основе анализа ДНК фототрофных микроорганизмов можно оценить динамику их видового состава, сравнить с современным составом => оценить изменения условий их обитания:

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Выявление доминирующих бактерий

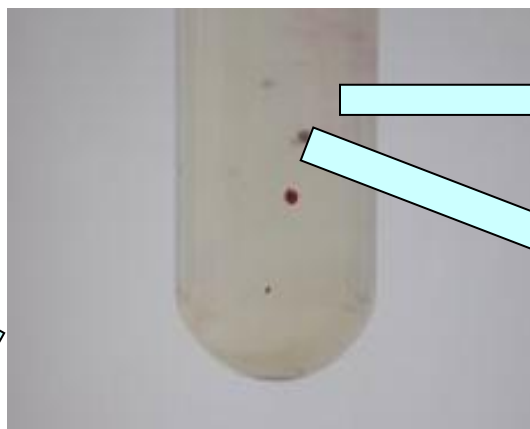
методом **ПЦР** фрагментов гена 16SpРНК



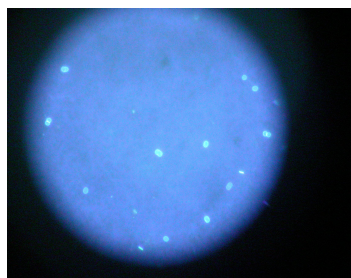
Характеристика состава фототрофных серных бактерий в озерах Шира и Шунет



Культивирование на жидкой среде

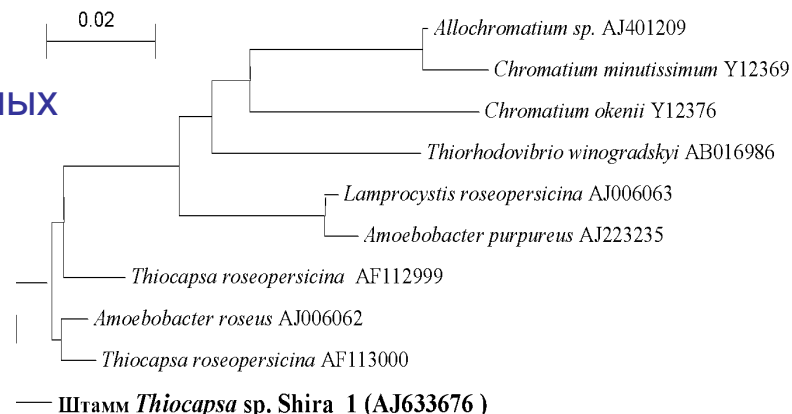
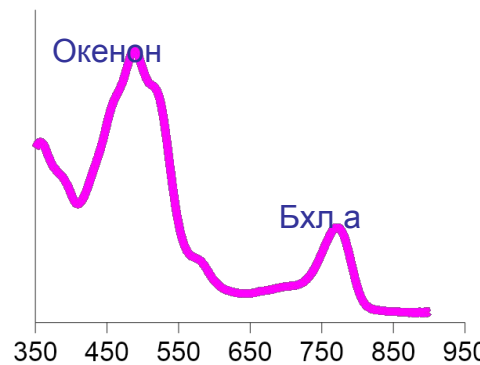


Очистка методом предельных разведений



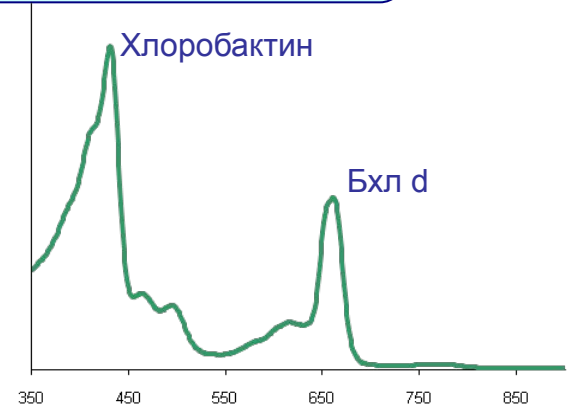
Анализ пигментного состава

Анализ нуклетидной последовательности гена 16pРНК



Из оз. Шира выделен в чистую культуру и идентифицирован штамм пурпурных серных бактерий *Thiocapsa* sp. Shira_1 (AJ633676) (*Chromatiaceae*)

Характеристика состава фототрофных серных бактерий в озерах Шира и Шунет



Из обоих озер были выделены зеленые серные бактерии (ЗСБ), содержащие в качестве основных пигментов бактериохлорофилл *d* и хлоробактин

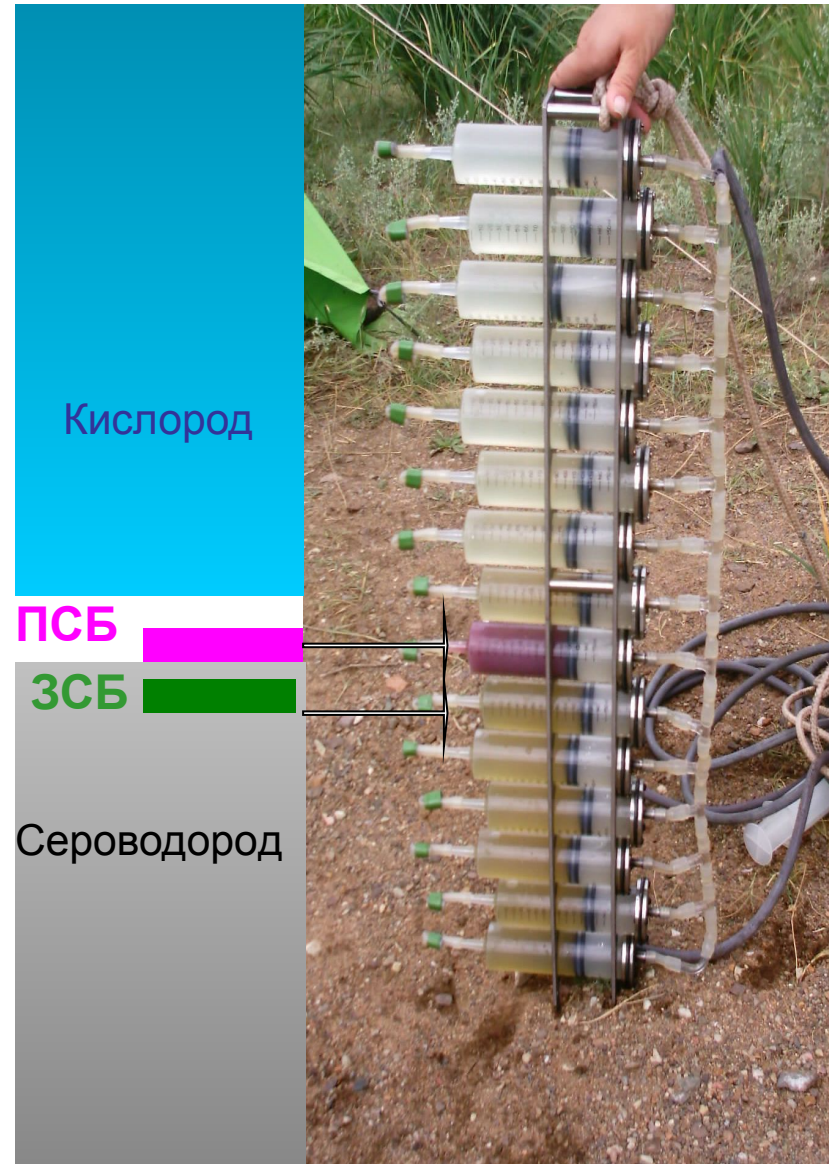
Оз. Шира – штамм ShC/03 (EF153291), близкий к *Chlorobium limicola*

Оз. Шунет – штамм ShNPe/02 (EF149016), близкий к *Prosthecochloris vibrioformis*

Лунина, О.Н., Брянцева И.А., В.Н. Акимов, И.И. Русанов, Е.А. Баринаова, А.М. Лысенко, **Д.Ю. Рогозин**, Н.В. Пименов *Микробиология*, 2007, т. 76, № 4. стр. 533-544.

Лунина, О.Н., Брянцева И.А., В.Н. Акимов, И.И. Русанов, **Д.Ю. Рогозин**, Е.А. Баринаова, Н.В. Пименов *Микробиология*, 2007, т. 76, № 3. стр. 416-428.

Пространственные распределения фототрофных серных бактерий в озере Шунет

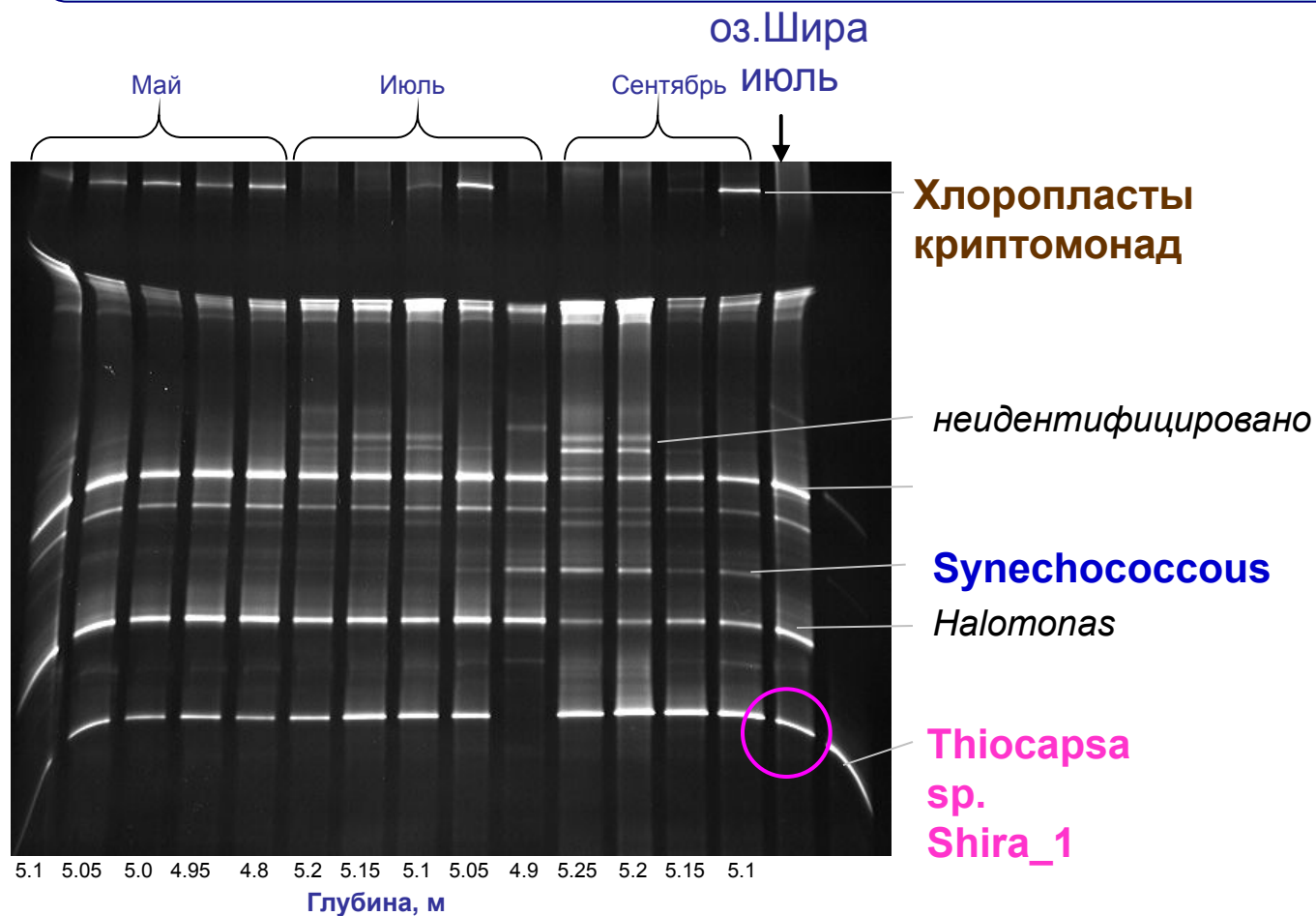


Рогозин Д.Ю., Пименов Н.В., Косолапов Д.Б.,
Чаньковская Ю.В., Дегерменджи А.Г.

Доклады АН, 2005, т. 400, № 3, стр. 426-429.

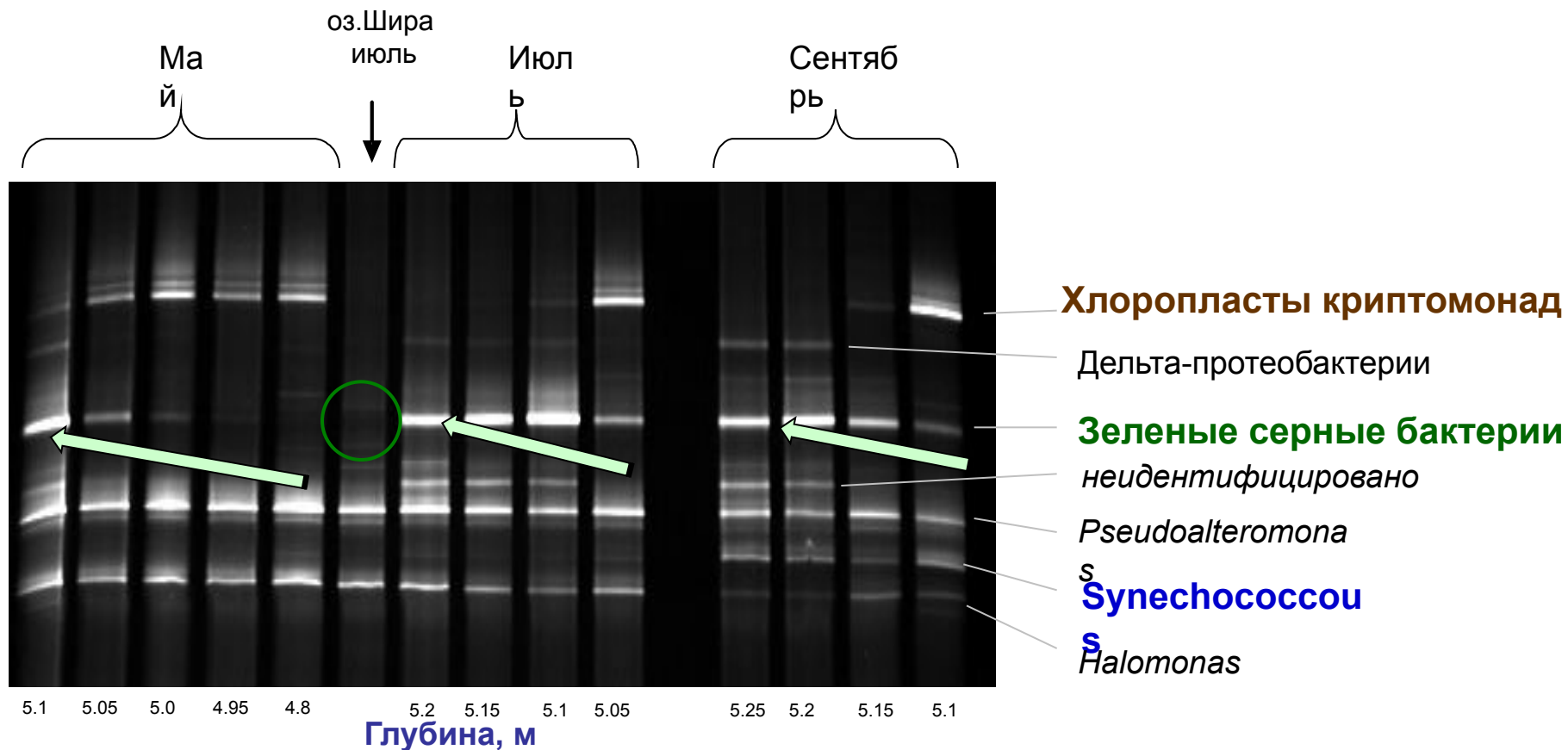
Лунина, О.Н., Брянцева И.А., В.Н. Акимов, И.И. Русанов,
Д.Ю. Рогозин, Е.А. Баринаова, Н.В. Пименов ***Микробиология***,
2007, т. 76, № 3. стр. 416-428.

Характеристика состава фототрофных серных бактерий в озерах Шира и Шунет



Методом ПЦР-ДГГЭ показано, что в обоих озерах доминируют ПСБ **Thiocapsa sp. Shira_1**

Характеристика состава фототрофных серных бактерий в озерах Шира и Шунет методом ПЦР-ДГГЭ



1. В оз. Шира ЗСБ являются минорной группой
2. В оз. Шунет ЗСБ достигают максимума глубже ПСБ

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Например:

Соотношение **пурпурных** серных бактерий (**ПСБ**) и **зеленых** серных бактерий (**ЗСБ**) может свидетельствовать об изменении глубины хемоклина: **ЗСБ** более тенелюбивы, устойчивости меромиксии : **ПСБ** более толерантны к кислороду

В общем случае интерпретировать сложно, необходимо учитывать особенности экологии бактерий в каждом водоеме!

ДНК гетеротрофных бактерий интерпретировать сложно, т.к. их возраст может не соответствовать возрасту отложений!

Липиды

Длинноцепочечные алкеноны: липиды $C_{36} - C_{42}$
Me- и Et – метил- и этил-кетоны

Продуценты – гаптофитовые водоросли (Haptophyta)

В океане это два космополитичных вида
Emiliana huxleyi и ***Gephyrocapsa oceanica***

В солоноватых и соленых озерах это много видов семейства
Isochrysidaceae, поэтому затруднена интерпретация («**species effect**»),
В пресных – меньше видов, поэтому интерпретация надежнее

Показано, что степень насыщенности C_{37} – алкенонов зависит от средней температуры воды, при которой они синтезировались

Липиды в донных отложениях

Анализ методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (**GC-MS**)

U_{37}^K индекс ненасыщенности, коррелирует с SST (sea surface temperature) (**Longo et al., 2013**)

$$U_{37}^K = \frac{C_{37:2} - C_{37:4}}{C_{37:2} + C_{37:3} + C_{37:4}}$$

Показано, что степень ненасыщенности C_{37} – алкенонов зависит от средней температуры воды, при которой они синтезировались

Липиды в донных отложениях

Существуют липиды C_{25} продуцируемые морскими подледными диатомовыми. Эти липиды являются индикаторами ледовой обстановки (IP_{25} – ice proxy)

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Магнитные свойства донных отложений

В донных отложениях содержатся минералы, обладающие магнитными свойствами

Low frequency magnetic susceptibility (магнитная восприимчивость, **XLF**)

Остаточные намагниченности:

Natural remanent magnetization (**NRM**)

Saturation isothermal remanent magnetization (**SIRM**)

Isothermal remanent magnetization (**IRM**)

Anhysteretic remanent magnetization (**ARM**)

Профиль магнитной восприимчивости используется для сопоставления разных кернов

$S = \text{IRM}/\text{SIRM}$ – отражает структуру магнитных частиц

XLF/SIRM – отражает размер магнитных частиц

$Q = \text{NRM}/(\text{XLF} \times H)$, где H – магнитное поле Земли

$Q < 1$ – детритное (биогенное) происхождение

$Q > 1$ – хемогенное происхождение

Магнитные свойства донных отложений

Происхождение магнетита Fe_3O_4 может быть как чисто геологическим (если горные породы в водосборном бассейне содержат магнетит), так и биогенным

Биогенный магнетит – однодоменные частицы размером около 50 нм

Продуцентами биогенного магнетита в отложениях являются магнитотактические бактерии, синтезирующие однодоменные наноразмерные частицы магнетита в составе внутриклеточных включений – **магнитосом**.

Магнитотактические бактерии

Blakemore, R. P. Magnetotactic bacteria. *Science* **190**, 377–379 (1975). – первое описание магнитотаксиса у бактерий

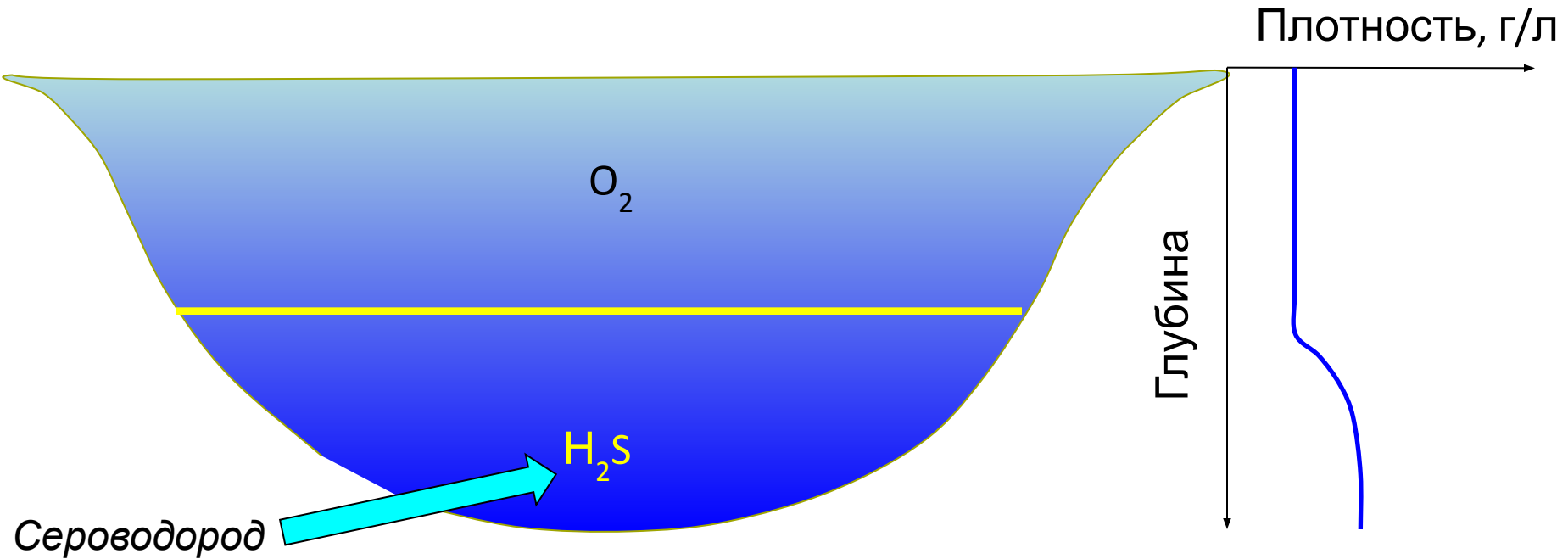
Гетерогенная группа, не имеющая общего таксономического положения

Общее:

Клетки грам-отрицательные ***Bacteria***, подвижные, передвигаются с помощью жгутиков,

Облигатные микроаэрофилы или анаэробы
(=требуются малые концентрации кислорода)

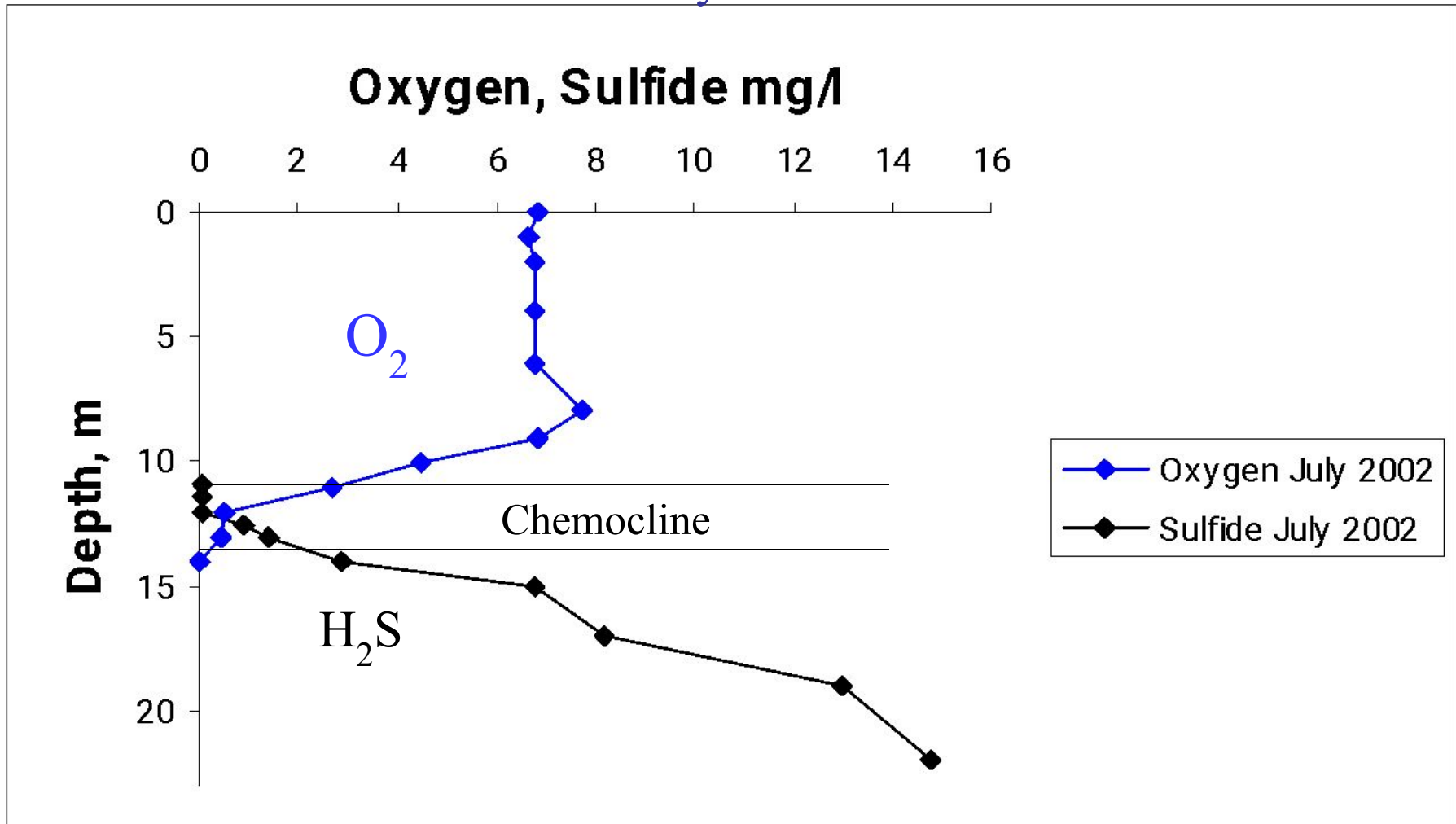
Основы палеолимнологии. Лекция-5



Населяют редокс-зону (oxic-anoxic interface)
стратифицированных водоемов

Основы палеолимнологии. Лекция-5

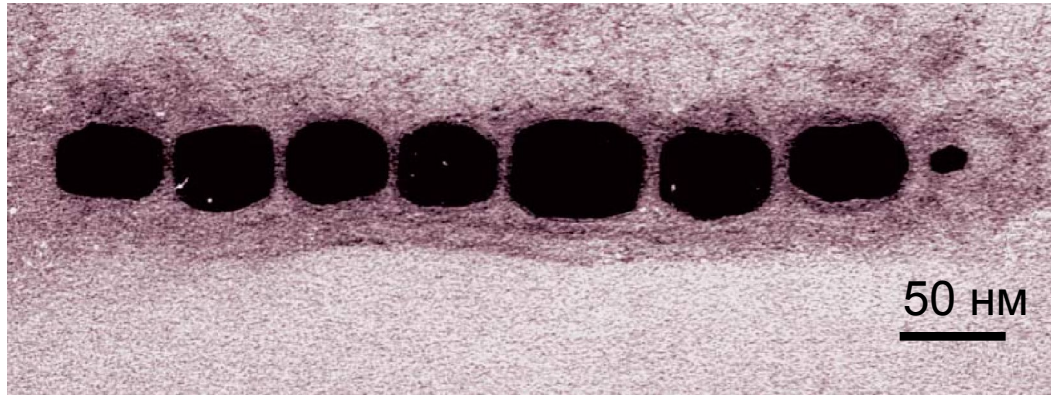
Chemical stratification of Shira Lake water column in July 2002



Магнитные свойства донных отложений

Биогенный магнетит – однодоменные частицы
размером около 50 нм

Bazylinski, Frankel, 2004



Продуцентами биогенного магнетита в отложениях являются магнитотактические бактерии, синтезирующие однодоменные наноразмерные частицы магнетита в составе внутриклеточных включений – **магнитосом**.

MAGNETOSOME FORMATION IN PROKARYOTES

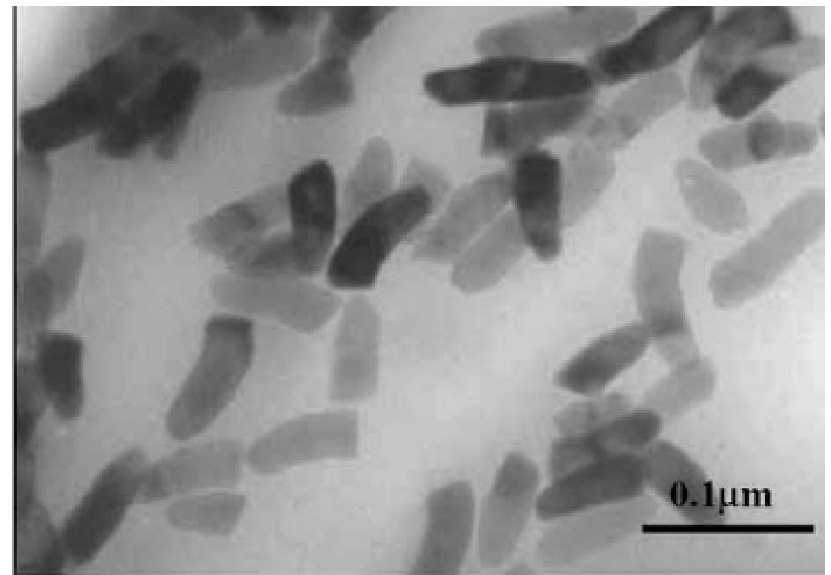
Dennis A. Bazylinski and Richard B. Frankel[‡]*

NATURE REVIEWS | MICROBIOLOGY

VOLUME 2 | MARCH 2004 | 217



Figure 1 | Transmission electron micrograph of a negatively stained cell of a typical magnetotactic bacterium. This is a cell of strain MV-4, a marine



Магнитное поле Земли

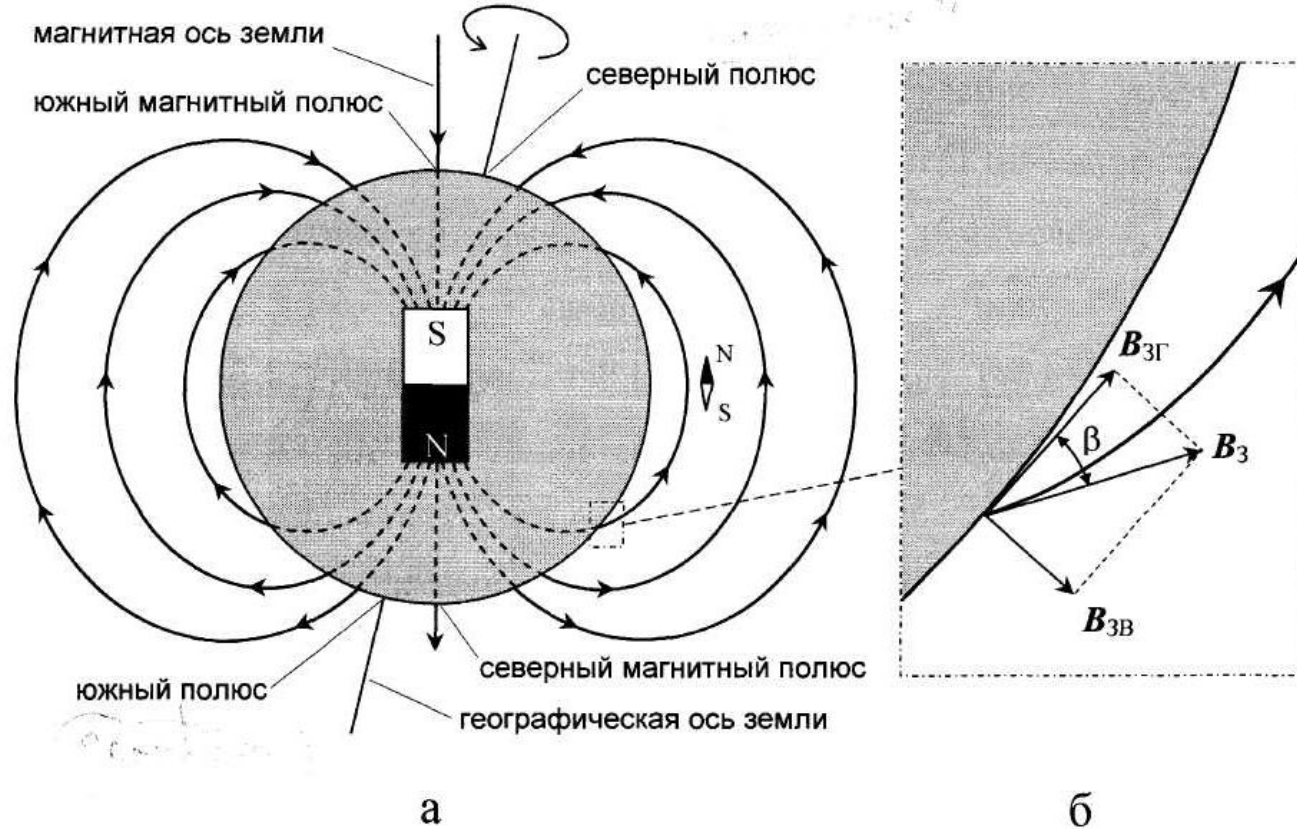


Рис. 4.

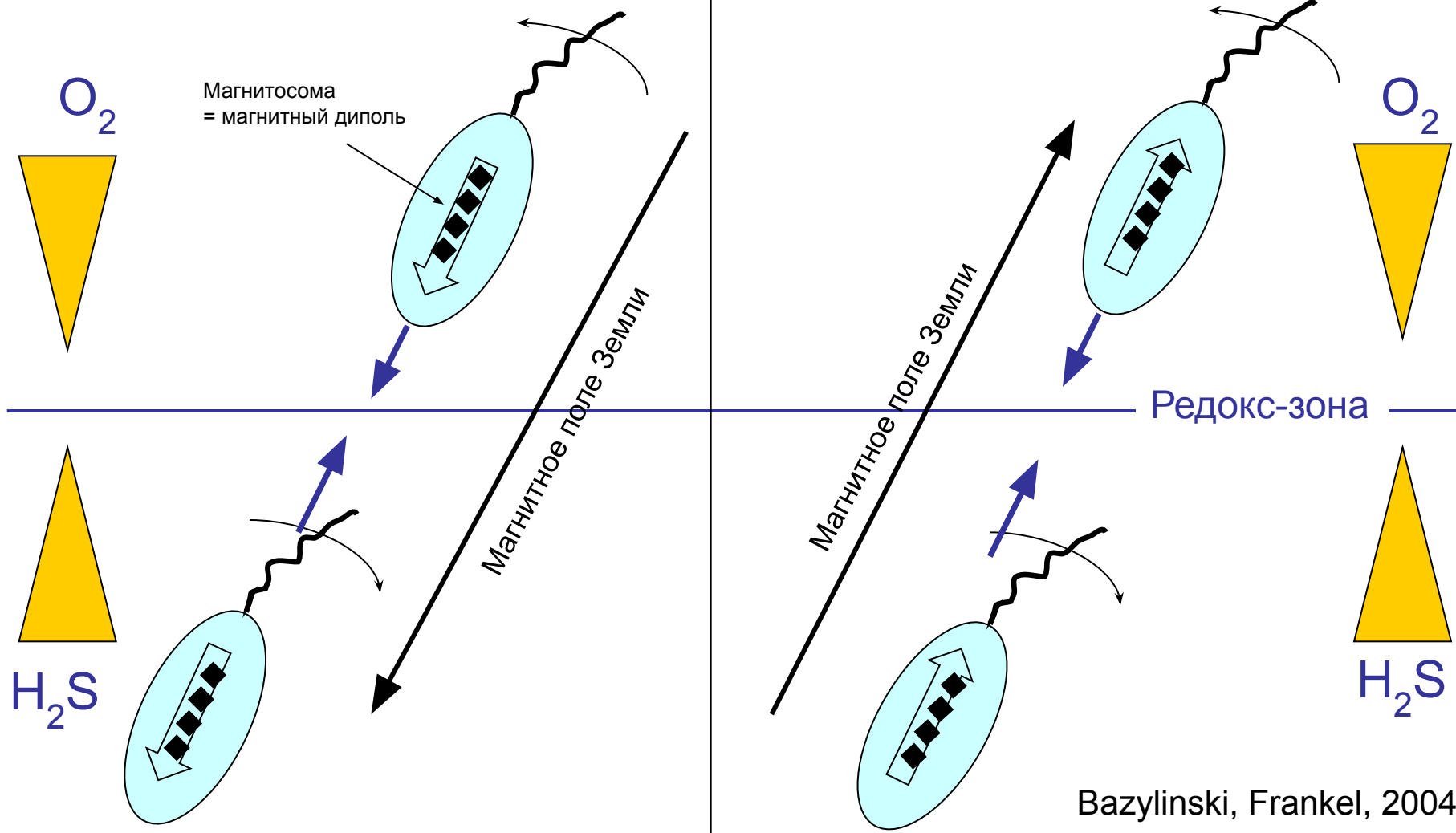
<http://yandex.ru>

Основы палеолимнологии. Лекция-5

Северное полушарие

Магнито-аэротаксис

Южное полушарие



Bazyliński, Frankel, 2004

Сибирский Федеральный Университет

Рогозин Д.Ю.

г. Красноярск, 2016

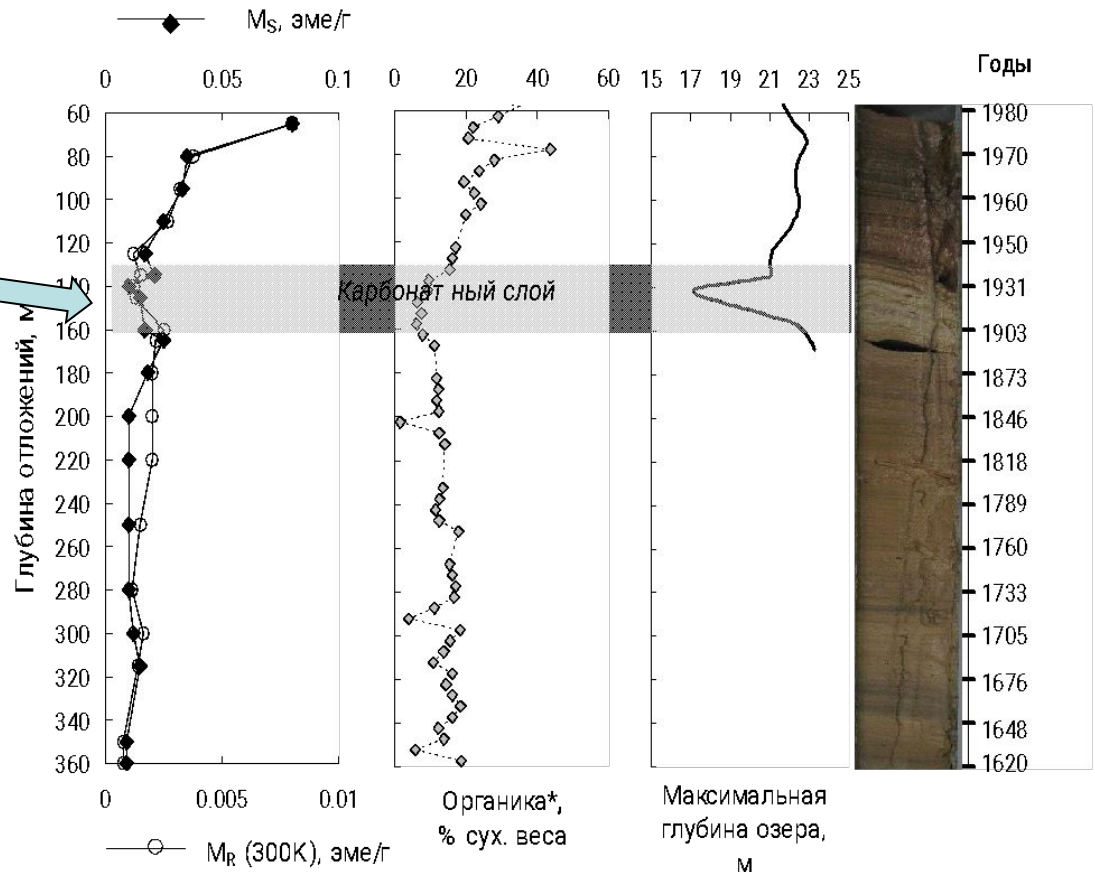
Основы палеолимнологии. Лекция-5

Оз. Шира

Магнитные свойства

Снижается количество биогенного магнетита в донных отложениях

=
Признак исчезновения редокс-зоны (?)



Рогозин, Балаев, Семенов, Шайхутдинов, Баюков, ДАН, 2016

Сибирский Федеральный Университет

Рогозин Д.Ю.

г. Красноярск, 2016