

ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА СЕРЕБРЯНКА (САМАРСКАЯ ЛУКА)

© 2013 Н.Г. Шерышева¹, Г.А. Осипов²

¹ Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

² Академическая группа Академика РАН Ю.Ф. Исакова
при НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева, Москва

Поступила 12.01.2013

Представлены результаты исследований структуры микробного сообщества детритного ила озера Серебрянка (Самарская Лука), участвующего в биогенезе минерала вивианита - $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$. Образование вивианита происходило в модельном эксперименте в процессе анаэробного Fe(III) железовосстановления. Доминантными видами в природном микробном сообществе ила, участвующими в образовании фосфатсодержащих минералов железа, являются представители родов *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Eubacterium*, железоредукторы *Shewanella*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Geovibrio*, *Desulfovibrio*. Активны *Spirochaeta "M"*, *Bacillus*, *Propionibacterium*, *Actinomadura*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Pseudonocardia*. В процессе анаэробной железоредукции находились в угнетенном состоянии или выбывали из сообщества аэробные и микроаэрофильные хемоорганотрофные организмы с дыхательным типом метаболизма, осуществляющие разложение целлюлозы, углеводов, аммонификацию, азотфиксацию, окисление железа. Анаэробные бродильщики, диссимиляционные железоредукторы, сульфатредукторы, нокардиоформные актиномицеты, отдельные виды анаэробных хемоорганотрофов, напротив, становились активны.

Ключевые слова: тонкодетритный железистый ил, видовой (родовой) состав бактерий, доминанты, донное микробное сообщество, процесс Fe(III)-восстановление, вивианит, жирно-кислотные микробные маркеры.

ВВЕДЕНИЕ

Железо – четвертый по распространенности элемент земной коры; выполняет функцию энергетического центра в окислительно-восстановительных реакциях в природе. Биогенный цикл железа, включающий в себя энзиматические и биотические опосредованные реакции, осуществляется прокариотами разных филогенетических и физиологических групп [4]. Процессы микробного восстановления Fe(III) сопряжены с биогеохимическими циклами углерода, кислорода, серы; в донных отложениях пресноводных и морских экосистем диссимиляционное восстановление Fe(III) может доминировать в окислении органического вещества [13, 14]. При определенных условиях процесс микробной железоредукции сопровождается образованием минералов. Так, в результате жизнедеятельности микроорганизмов в осадочных отложениях происходит образование биогенного грейгита, сидерита, пирита. Б.Ф. Перфильевым показано, что при участии организмов *Metallogenim personatum*, *Caulococcus manganifer*, *Kusnezovia polymorpha* происходит накопление в озерах железо-марганцевых конкреций [4]. Особый интерес представляет биогенное образование вивианитов – железофосфатных руд, которые рассматриваются как новый тип осадко-

образования современного геохимического процесса [7]. При этом актуальным и малоизученным остается вопрос – какие группы микроорганизмов принимают участие в генерации железофосфатных минералов.

В модельных опытах минералы типа вивианита и сидерита образовывались в результате жизнедеятельности водородной бактерии, идентифицированной как *Pseudomonas sp.*, при восстановлении ферригидрита [1]. В работах [14] продемонстрировано использование Fe(III) в качестве конечного акцептора электронов при росте бактерий родов *Geobacter* и *Shewanella* с преобразованием слабокристаллического оксида железа во внеклеточный магнетит. Выпадение вивианита происходило при окислении бактериями метанола [5] в сокультуре *Methylomonas methanica*, *Shewanella putrefaciens* и *Clostridium sphenoides* при восстановлении Fe(III) пирофосфата. В пресноводных водоемах распространенными железоредукторами являются представители родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*.

Однако в известных исследованиях отсутствует синэкологический подход, позволяющий получить представление о видовой структуре микробного населения и ведущих группах микроорганизмов, осуществляющих биогенез фосфатов железа в природных условиях. *Цель настоящей работы* – изучение видовой структуры микробного сообщества, активного в биогенезе вивианита. Для идентификации видовой (родовой) состава сообщества организмов мы применили метод жирнокислотных маркеров, широко применяемый

Шерышева Наталья Григорьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов, sapfir-sherry@yandex.ru; *Осипов Георгий Андреевич*, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник osipovga@mail.ru

в настоящее время для изучения сообществ в природных экосистемах [2, 8, 10, 12, 15-17].

В качестве объекта исследования было определено лесное озеро Серебрянка, в донных отложениях которого создаются экологические факторы, благоприятные для образования вивианита: мелководность водоема и обилие водной растительности, восстановительные условия, наличие гуминифицированного органического вещества, слабкокислая реакция среды в илах, высокие концентрации железа и фосфора [3, 9]. Озеро Серебрянка расположено на территории Самарской Луки – излучины в среднем течении р. Волга; находится в блюдцевидной карстовой впадине; его длина – 42 м, площадь – 0,11 га, глубина менее 1 м [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Таблица 1. Тип ила и физико-химические параметры донных отложений оз. Серебрянка

Тип грунта	Т, °С	рН	Eh	гН ₂	В %	ГВ, г/Г _{ила}	Fe, мг/10 г сырого ила		С _{орг.} мг/л	Р _{общий} мг/л
							Fe _{общее}	Fe(II)		
Тонкодетритный железистый ил	24,5	6,1	60	14	73	0,11	4,10	3,02	291	2,49

Донные осадки водоема богаты органическим веществом, железом и фосфором. Поровая вода имеет интенсивно коричневый цвет, обусловленный присутствием гумусовых веществ. Значения активной реакции среды (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и структура ила свидетельствуют о развитии активных восстановительных микробиологических процессов.

Микробиологические исследования. Для изучения сообщества, осуществляющего биогенез вивианита, создавали условия, максимально приближенные к природным. Для этого готовили суспензию ила. Сразу после отбора пробы непосредственно из грунтовой колонки отбирали ил (20%) газонепроницаемыми шприцами и вводили в бутылочки с 20 мл анаэробного 1%-ного физраствора. Бутылочки предварительно герметично закрывали резиновыми пробками и алюминиевыми колпачками. Приготовленные иловые суспензии доставляли в лабораторию и инкубировали в термостате при 30 °С. Измеряли концентрацию двухвалентного железа в жидкой фазе в начале эксперимента, через 10, 20 суток экспонирования. Для формирования железосодержащих кристаллических структур после завершения процесса восстановления железа бутылочки выдерживали в течение 90 суток до выпадения нерастворимого осадка голубого цвета.

Аналитические методы. Восстановление Fe(III) оценивали по накоплению Fe(II) в жидкой фазе. Концентрацию Fe(II) определяли феррозиновым методом спектрофотометрически (СФ-46) при 562 нм после экстракции проб 0,5 н соляной кислотой в течение 15 мин [13].

Материал для исследований получен в июле 2004 г. в ходе комплексной экспедиции Института экологии Волжского бассейна РАН по исследованию малых озер Самарской Луки, расположенных в Самарской области.

Донные отложения озера Серебрянка представлены мягким серым маслянистым илом с черными прожилками в более плотных нижних слоях. Сверху ил покрывает слой коричневого окисленного детрита. Ил содержит обильные полуразложившиеся остатки водной растительности и листовой опад. В микроскопической структуре поверхностного слоя ила преобладают тонкие разложившиеся структуры растительного и животного происхождения. Физико-химическая характеристика ила представлена в табл. 1.

Рентгенофазовый анализ (РФА) и микроскопический анализ. Состав минеральных фаз и идентификацию типа минерала естественного ила и осадка, полученного в результате биогенного железовосстановления иловой суспензии, проводили методом рентгенофазового анализа. Анализ выполнен в Институте экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка) на аппарате ДРОН -3 при следующих условиях: U-30 кв., I-20 mA в Co-излучении и использованием компьютерной рентгенографической базы данных PDF-2. Во всех спектрах по горизонтали показаны межплоскостные расстояния d/n (Å), по вертикали – интенсивность пиков I, %. Фотографии кристаллов вивианита сделаны на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega TS 5130 с энергодисперсионным спектрометром INKA.

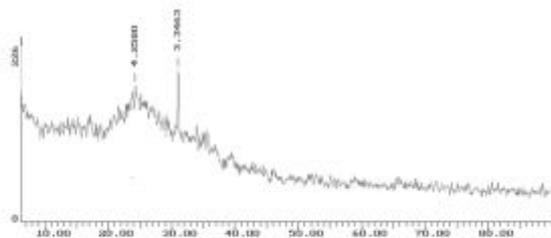
Для изучения структуры микробного сообщества естественного ила и осадка с вивианитом после инкубации применяли метод газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС) [6]. Определение жирно-кислотного состава суммарной биомассы иловых микробиоценозов проводили на ГХ-МС системы AT-5973 SMART фирмы Agilent Technologies (США) в лаборатории Академической группы Академика РАНН Ю.Ф. Исакова. Масс-спектрометр квадрупольный с диапазоном масс 2 - 550 аем имеет разрешающую способность 0,5 аем во всем рабочем диапазоне. Ионизация электронами 70 эв. Чувствительность прибора составляет 0,01нг по метилстеарату. Для хроматографического разделения пробы использовали капиллярную колонку из плавленного кварца длиной 25 м и внутренним диаметром 0,25 мм. Неподвижная фаза HP-5ms

Хьюлетт-Паккард с толщиной слоя 0,25 мкм. Хроматографирование проводили в режиме программирования температуры от 120 до 320 °С со скоростью 5 град/мин. Температура инжектора и интерфейса 280 °С. Обработку данных проводили с помощью штатных программ прибора. Вещества в хроматографических пиках идентифицировали с помощью библиотечных программ с базами данных масс-спектров NIST.

Состав микробных сообществ рассчитывали в электронных таблицах "EXCEL" с помощью разработанного алгоритма расчета [8], дополненного локальной базой жирно-кислотных маркеров, разработанной нами для сообществ озерных илов. Данный анализ дает возможность определить качественный и количественный состав микробного сообщества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгенофазовый анализ и жирно-кислотный анализ естественного ила. При съемке спектра естественного ила на дифрактограмме получен фон рентгеноаморфного вещества с одним выраженным пиком кварца ($d=3,346 \text{ \AA}$ [33 1161]) (рис. 1). Следовательно, исследуемый материал ила представляет собой аморфную массу с присутствием из кристаллических структур только одного минерала – кварца SiO_2 . В пробе естественного ила железосодержащие кристаллические структуры отсутствуют. Из результатов РФА следует, что в тонкодетритных илах озера Серебрянка процессы минералообразования фосфатсодержащих минералов отсутствуют или протекают очень слабо.



SiO_2 ; Quartz syn
33 1161

Рисунок 1. Дифракционный спектр естественного ила из озера Серебрянка: аморфная фаза, присутствуют линии кварца $d_{001} = 3,3463 \text{ \AA}$

Исследования бактериального донного сообщества озера Серебрянка. Анализ жирнокислотного состава ила выявил ряд компонентов, характерных для прокариотного микробного сообщества. Найдено 86 жирных кислот микробного происхождения. По данным масс-спектрометрии микробных маркеров выявлен видовой (родовой) состав микроценоза, обитающего в донных отложениях водоема (рис. 2.). В микробное сообщество входят организмы различных филогенетических и эколого-трофических групп,

представленные 40 таксонами, относящимся к 31 роду.

Описание микробного сообщества в статье приводится в соответствии с *Определителем бактерий Берджи* / под ред. Г.А. Заварзина. М. Мир, 1997. Микробное население ила озера Серебрянка представлено хемоорганотрофными организмами: анаэробной или факультативно анаэробной спирохетой *Spirochaeta "M"*, аэробными/микроаэрофильными спириллой рода *Azospirillum*; грамотрицательными палочками родов *Pseudomonas* (*P. sp.*, *P. putida*, *P. vesicularis*), *Xanthomonas*, водородной бактерией *Hydrogenophaga sp.*, метанотрофной бактерией *Methylococcus sp.*, имеющей сферические парные клетки; анаэробом *Bacteroides hypermegas*. Из группы грамположительных бактерий в сообществе присутствуют аэроб/факультативный анаэроб *Bacillus sp.*, анаэробные бродильщики *Clostridium sp.*, *Cl. propionicum*, *Cl. putrefaciens*, *Cl. sporogenes*, маслянокислые *Eubacterium sp.* и *Butyrivibrio 2333*, коринебактерии *Cellulomonas sp.*; гомоацетатные *Acetobacterium sp.*, пропионовокислые *Propionibacterium sp.* Обнаружены два рода скользящих бактерий, разлагающих полимеры в аэробных (микроаэробных) условиях - миксобактерии *Cytophaga sp.* и *Flexibacter sp.*, а также фототрофная бактерия *Heliobacterium sp.* Нокардиоформные актиномицеты представлены аэробными *Nocardia carnea*, *Pseudonocardia sp.*, *Rhodococcus terrae*, *Rh. rhodochrous*. Из стрептомицетов развиваются органотрофные аэробы *Streptomyces rimosus* и актиномицеты *Actinomyces*, а также миксобактерии р. *Mycobacterium sp.* с характерным составом липидов оболочки и одиночной *Actinomadura roseola*. В сообществе присутствуют бактерии, осуществляющие диссимиляционное восстановление сульфатов *Desulfovibrio sp.* и *Desulfotomaculum sp.*

Бактерии, участвующие в цикле железа, представлены аэробными железокисляющими *Sphaerotilus natans* и *Leptothrix sp.*, анаэробными - *Geothrix fermentas*, FeRed- диссимиляционным железоредуктором штаммом FeRed KM-2, выделенным из речного ила (Н. Лебедева, частная коллекция). Отдельную группу составляют железоредукторы FeRB Lovley, любезно предоставленные профессором D. Lovley и доктором E. Шелоболыной с общим маркером 16:1d11 (11-гексадеценовой кислотой). В отмеченную группу входят представители четырех родов: *Shewanella*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Geovibrio*.

В сообществе естественного ила доминируют *Actinomyces*, *Streptomyces*, *Rhodococcus terrae*, *Azospirillum*, *Spirochaeta "M"* - организмы, осуществляющие аэробную деструкцию органического вещества.

Образование вивианита в иле в условиях эксперимента. Известно, что температура является пусковым механизмом повышения скорости окислительно-восстановительных реакций, опре-

деляющих интенсивность и направленность метаболических процессов в живых организмах. Повышение температуры ила в условиях эксперимента до 30 °С привело к активизации жизнедеятельности бактериального сообщества, сопровождающееся резким увеличением численности микроорганизмов. Исходя из концентрации жирно-кислотных маркеров, бактериальный пул в условиях эксперимента увеличился почти в 5 раз

(рис. 2). Увеличение численности микроорганизмов происходит за счет использования органического вещества и других питательных веществ, содержащихся в иле. В качестве акцепторов электронов в окислительно-восстановительных реакциях выступает трехвалентное железо, также в достаточном количестве содержащееся в естественном иле.

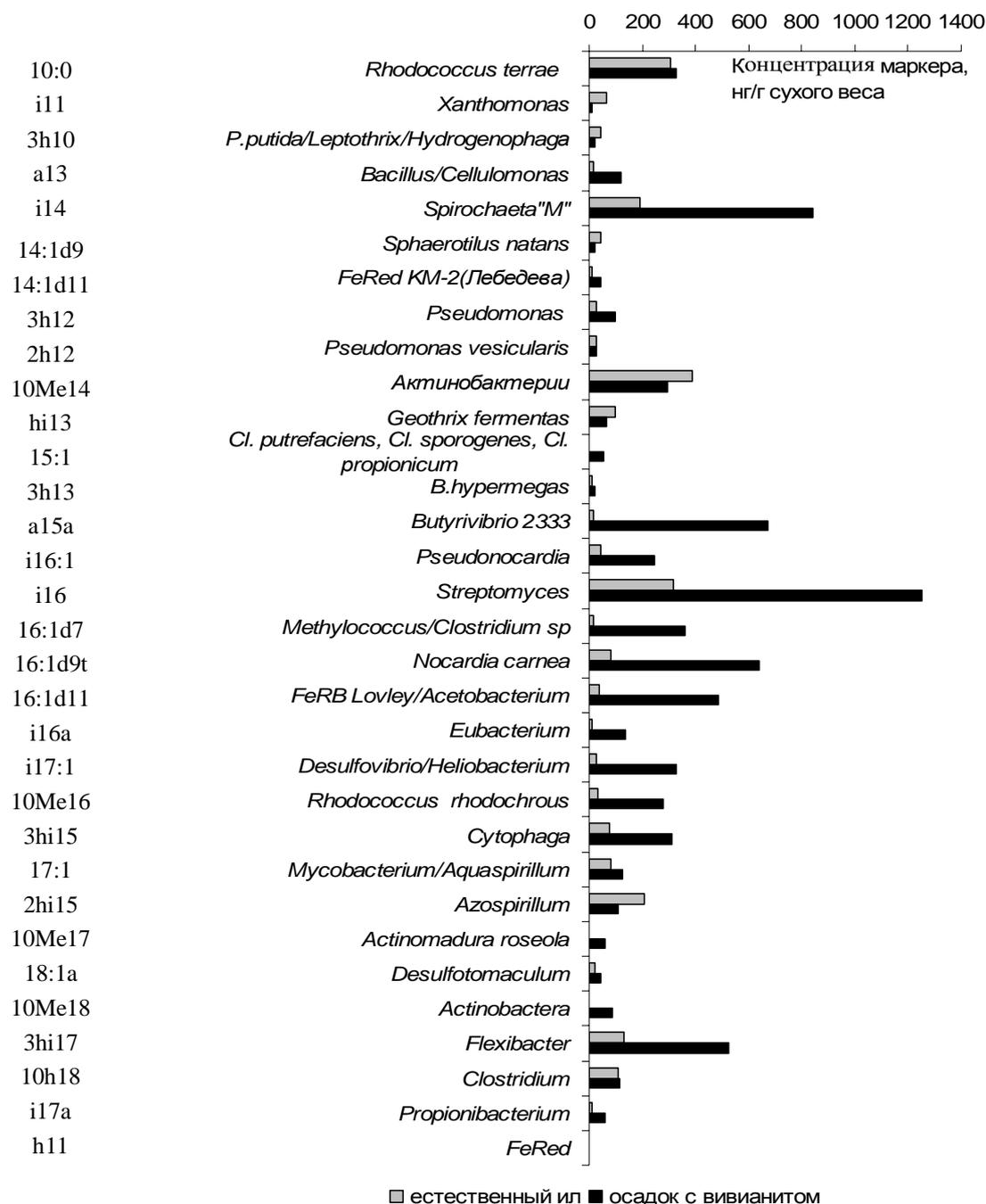


Рисунок 2. Видовой (родовой) состав сообщества по данным жирно-кислотных маркеров ила озера Серебрянка и осадка с вивианитом, полученного после инкубации

В анаэробных условиях бактериальный рост активизирует интенсивность восстановительных процессов, среди которых Fe(III) восстановление является одним из ключевых. В условиях экспе-

римента в период бактериального роста регистрировалось активное продуцирование двухвалентного железа. Так, в течение первых 10-ти суток экспонирования концентрация растворимого

двухвалентного железа в жидкой фазе увеличилась от первоначального значения 7,40 мгFe(II)/л до 62,4 мгFe(II)/л, а через 20 суток составила 80,12 мгFe(II)/л (рис. 3А).

Далее направленность Fe(III) восстановительного процесса происходила по описанной ранее схеме [5, 11]. Благодаря активизации жизнедеятельности микроорганизмов создается высокая концентрация растворимого двухвалентного же-

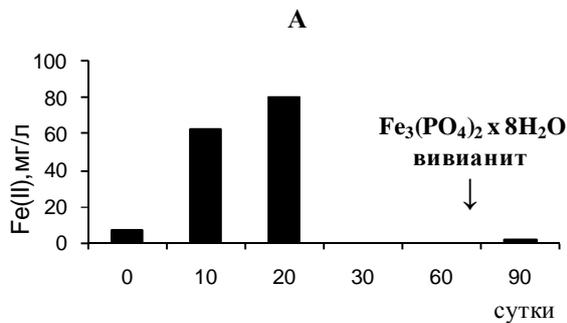


Рисунок 3. Изменение концентрации Fe(II) в суспензии ила в жидкой фазе (А) и образование минерального осадка вивианита (Б) во время экспонирования суспензии при температуре 30°C

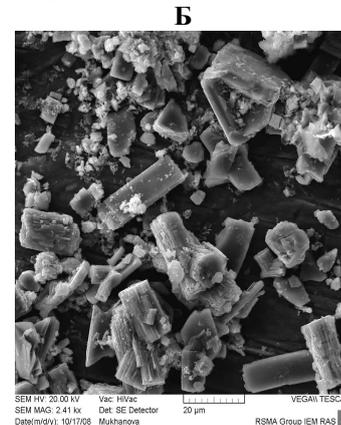
Рентгенофазовый анализ образованного в конце эксперимента осадка подтвердил наличие минерала вивианита - $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$ ($d = 6,816\text{\AA}$) (рис. 4). Кроме вивианита отмечено небольшое наличие кристаллов галита, что по-видимому, связано с использованием 1-% физраствора NaCl для получения иловой суспензии. Электронный микроскопический анализ полученного осадка четко демонстрирует на фотографии структуру биогенного вивианита в виде кристаллов разнообразных прямоугольных форм (рис. 3Б). Таким образом, аналитически установлен процесс биогенного образования вивианита в процессе микробиологического Fe(III) восстановления в донных отложениях озера Серебрянка в модельном опыте.

Исследование структуры микробного сообщества в осадке с вивианитом. Применяя метод жирно-кислотных маркеров, нами исследован качественный и количественный состав микробного сообщества осадка после инкубации, содержащего кристаллический вивианит.

Изменение структуры микробного сообщества естественного ила в процессе биогенного образования вивианита проявилось в количественном развитии, а также в смене доминантных видов и активности трофических (физиологических) групп бактерий. Количественное развитие сообщества характеризовалось увеличением численности определенных групп микроорганизмов на фоне снижения других.

Виды микроорганизмов, не способные конкурировать за пищевые и энергетические ресурсы в условиях анаэробной железоредукции, а также использовать Fe(III) в качестве акцептора элек-

трона в среде. Ионы двухвалентного железа вступают в реакцию химического взаимодействия с фосфат-ионами при условии высокого содержания фосфатов и образуют нерастворимый фосфат двухвалентного железа $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$ (рис. 3Б), который и выпадает на дно в виде осадка голубого цвета (вивианита). Формирование минерального осадка в исследуемом иле происходило в течение 90 суток.



тронов снижали свою численность или выбывали из сообщества. В процессе биогенного синтеза вивианита формируется адаптированное к условиям эксперимента железовосстанавливающее сообщество микроорганизмов.

На фоне увеличения общей микробной массы происходит смена ведущих видов в сообществе (рис. 2). Доминантами становятся первичные бродильщики *Butyrivibrio* и *Clostridium*. По относительной концентрации жирно-кислотного маркера мы ранжировали представителей сообщества по степени участия в железовосстановительном процессе следующим образом. Значительно повысили активность железоредукторы FeRB Lovley, сульфатредуктор *Desulfovibrio*, неспоровый анаэробный ацетоген р. *Eubacterium*.

Несколько меньшую активность проявили олигоспоровый актиномицет *Actinomadura roseola*, FeRed KM-2 (Лебедева), *Bacillus*, *Nocardia carnea*, *Propionibacterium*, *Rhodococcus rhodochrous*, *Pseudonocardia*, *Spirochaeta*"M", *Streptomyces*.

Наименее активны в сообществе - *Bacteroides hypermegas*, *Cytophaga*, *Pseudomonas sp.* В угнетенном состоянии находятся *Desulfotomaculum*, диссимильатор FeRed, *Rhodococcus terrae*, бактерии родов *Mycobacterium*, *Aquaspirillum*, *Pseudomonas vesicularis*.

Значительно снижают участие в процессе железоредукции относительно первоначальной микробной массы или выбывают из сообщества микроаэрофильный организм *Azospirillum*, аэробные организмы *Leptothrix sp.*, *Sphaerotilus natans*, *Xanthomonas*, *Actinomyces*, *Geothrix fermentas*.

В целом структура любого микроценоза определяется трофическими условиями. Трансформация структуры сообщества ила озера Серебрянка в процессе минералообразования вивианита так-

же отражает специфику трофических взаимодействий различных физиологических групп бактерий, в основе которого, по-видимому, лежит

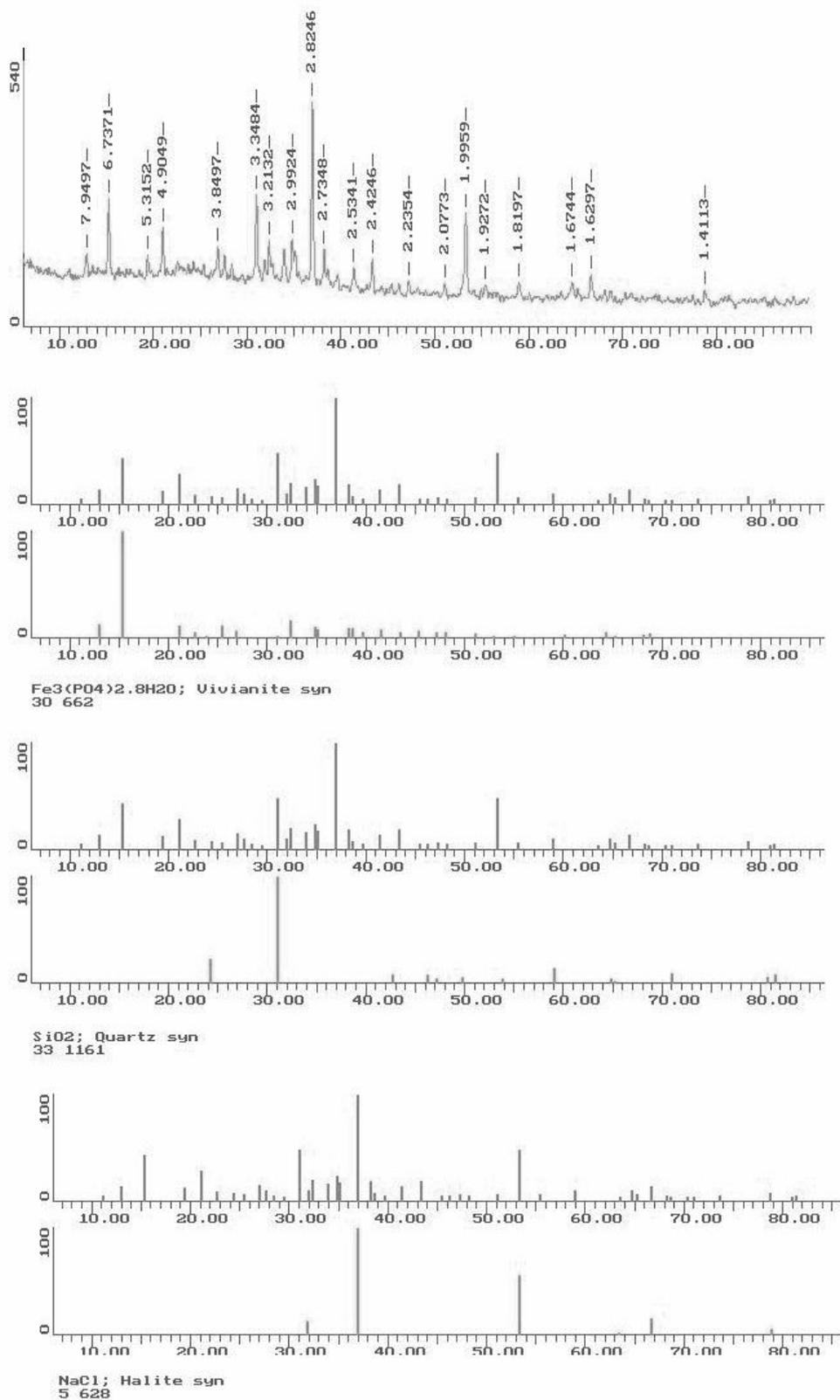


Рисунок 4. Дифракционный спектр осадка после 90 суток инкубирования: аморфное вещество, линии вивианита Fe₃(PO₄)₂ × 8H₂O: d = 6,8161Å; кварца SiO₂: d = 3,3455Å и галита

ступенчатое разложение органического вещества. Так, в доминантном комплексе аэробные организмы *Actinomyces* и *Streptomyces* уступают экологическую нишу первичным анаэробным бродильщикам *Butyrivibrio* и *Clostridium*. Снижают свою численность или интенсивность своего развития аэробные и микроаэрофильные гидролитики и диссипотрофы, т.е. организмы с дыхательным типом метаболизма (*Spirochaeta "M"*, *Cellulomonas*, *Rhodococcus terrae* и др.), а также медленно растущие формы (*Mycobacterium*), аэробные или анаэробные азотфиксаторы (*Xanthomonas*, *Azospirillum*).

В цикле железа бактерии, окисляющие железо *Leptothrix sp.*, *Sphaerotilus natans* не получают дальнейшего развития. В угнетенном состоянии находится диссимиляционный железоредуктор FeRed (Е.Турова, 1996). Активно развивают свою деятельность анаэробные железоредукторы группы FeRB Lovley – представители родов *Shewanella*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Geovibrio* и в меньшей степени штамм FeRed KM-2(Лебедева). Следует отметить высокую активность сульфатредуктора *Desulfovibrio sp.*, участвующего по результатам исследований авторов [8] в образовании железоорганических комплексов.

Таким образом, исследование трансформации структуры донного микроценоза озерного ила в процессе анаэробной железоредукции позволило выявить состав активного железовосстанавливающего бактериального комплекса. В исследуемом сообществе биогенез вивианита может осуществляться как железовосстанавливающими бактериями, так и различными экологотрофическими группами микроорганизмов. В тонкодетритном иле озера Серебрянка процесс Fe(III) восстановления с образованием вивианита осуществляют представители родов *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Eubacterium*, железоредукторы pp. *Shewanella*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Geovibrio*, *Desulfovibrio*, *Bacillus*, *Propionibacterium*, *Nocardia carnea*, *Actinomadura roseola*, *Rhodococcus rhodochrous*, *Pseudonocardia*, *Spirochaeta "M"*. Диссимиляционный железоредуктор FeRed KM-2(Лебедева) в перечисленном ряду менее активен. Следует особо отметить, что метод жирнокислотных микробных маркеров позволил выявить представителей родов *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Actinomadura*, *Propionibacterium*, *Pseudonocardia*, *Spirochaeta "M"* не отмеченных в литературе как бактерий, активно участвующих в анаэробном железовосстановительном процессе.

Авторы выражают благодарность сотруднику Института экспериментальной минералогии РАН

(г. Черноголовка) к.г.н. Зеленскому М.Е. за помощь в проведении рентгенофазового анализа ила и микроанализа кристаллического вивианита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашова В.В., Заварзин Г.А. Анаэробное восстановление окисного железа водородной бактерией // Микробиология, 1979. Т. 48. Вып. 5. С. 773-778.
2. Верховцева Н.В., Осипов Г.А. Метод газовой хроматографии-масс-спектрометрии в изучении микробных сообществ почв агроценоза // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1.
3. Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Быкова С.В., Шерышева Н.Г. Экология сообществ бактерий и свободноживущих инфузорий малых водоемов Самарской Луки / под ред. д.б.н. В.В. Жарикова. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. 193 с.
4. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970. 440 с.
5. Потехина Ж.С. Метаболизм Fe(III) восстанавливающих бактерий. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. 225 с.
6. Осипов Г.А. Способ определения родового (видового) состава ассоциации микроорганизмов: Патент № 2086642 РФ. Опубл. 10.08.1997.
7. Страхов Н.М. Избранные труды. Проблемы осадочного рудообразования. М.: Наука, 1986. С. 218-219, 288-290.
8. Турова Е.С., Осипов Г.А. Изучение структуры микробного сообщества, активного в биотрансформации минералов железа в каолине // Микробиология, 1996. Т. 65. № 5. С. 682-689.
9. Шерышева Н.Г., Уманская М.В., Горбунов М.Ю. Донные отложения некоторых озер Самарской Луки / Изв. Самар. НЦ РАН, 2003. Вып. 2. С. 240-250.
10. Шерышева Н.Г., Осипов Г.А. Таксономическая характеристика железовосстанавливающего микробного сообщества озерного ила / Мат-лы III Всеросс. науч. конф. «Принципы и способы сохранения биоразнообразия». Пушкино, 27 января -1 февраля 2008 г. / Мар. гос. ун-т. Йошкар-Ола; Пушкино, 2008. С. 221.
11. Шерышева Н.Г., Мороз В.П. Динамика образования вивианита в накопительных культурах метанотрофных и водородокисляющих бактерий в процессе анаэробного Fe(III) восстановления / Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. Т. 21, № 3. С. 16-24.
12. Sherysheva N.G., Zelenskii M.E., Osipov G.A. Microbial community composition in lake sediments during the biogenic iron transformation / Lakes ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality: materials of the III Intern. Sci. conf., September 17-22, 2007, Minsk-Naroch/Belarusian state university. Minsk: Publishing center BSU, 2007. P. 269.
13. Lovley D.R., Phillips E.J.P. Organic matter mineralization with reduction of ferric iron in anaerobic sediments // Appl. Environ. Microbiol. 1986. V. 51. P. 683-689.
14. Lovley D.R. Magnetite formation during microbial dissimilatory iron reduction // Iron biominerals. - New York: Plenum press, 1990. P. 151-166.
15. Spring St., Schulze R., Overmann J., Schleifer K-H. Identification and characterization of ecologically significant prokaryotes in the sediment of freshwater lakes: molecular and cultivation studies / FEEMS Microbiology Reviews, 2000. V. 24. P. 573-590.
16. Bühring S.I., Elvert M., Wite U. The microbial community structure of different permeable sandy sediments characterized by the investigation of bacterial fatty acids and fluorescence in situ hybridization / Environ. Microbiol., 2005. V. 7, № 2. P. 281-294.
17. Zhukova N.V., Tarasov V.G. Microbial community structure in sediments of Vostok and Nakhodka Bays (see of Japan) / Abstract of the International Workshop on the Global Change Studies in the Far East, Vladivostok, Okt 2-3, 2002. Vladivostok, 2002. С. 136-139.

**TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE OF MICROBIAL COMMUNITIES IN THE
PROCESS OF Fe(III) REDUCTION IN THE BOTTOM SEDIMENTS
IN LAKE SEREBRYANKA (SAMARSKAYA LUKA)**

© 2013 N.G. Sherysheva ¹, G.A. Osipov ²

¹Institute of Ecology of the Volga River basin of the RAS, Togliatti

²Group of Academician Y.F. Isakov, Bakoulev Center for Cardiovascular Surgery, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow

The research results of the structure of microbial communities of detrital silt in lake Serebryanka (Samarskaya Luka), taking part in the biogenesis mineral vivianite - $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$ are represented. The formation of vivianite took place in model experiment in anaerobic process of Fe(III) reduction. Dominant species in natural microbial community of silt, involved in formation of phosphate-holding minerals iron are representatives of the genera *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Eubacterium*, Fe(III)-reducing bacteria (*Shewanella*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Geovibrio*), *Desulfovibrio*. The species *Spirochaeta* "M", *Bacillus*, *Propionibacterium*, *Actinomyces*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Pseudonocardia* also are active. In the process of anaerobic Fe(III) reduction aerobic and microaerophilic hemoorganotrophic organisms with respiratory type of metabolism accomplishing decomposition of cellulose, hydrocarbons, ammonification, azotification, oxidation of iron were depressed or quitted community. Anaerobic fermentants, dissimilatory Fe(III)-reducing bacteria, sulfate-reducing bacteria, nocardioformic actinomycetes, some types of anaerobic hemoorganotrophs, on the contrary, became active.

Key words: ferriferous detrital silt, species (generic) composition of bacteria, dominants, benthic microbial communities, anaerobic process of Fe(III) reduction, vivianite, fatty acids microbial marker.

Sherysheva Natalia Grigorievna, Candidate of Biology, research worker of laboratory of Protozoa and microorganism ecology, sapfir-sherry@yandex.ru; *Osipov Georgii Andreevich*, Doctor of Biology, Professor, head research scientist of Group of Academician Y.F. Isakov of Bakoulev Center for CS RAMS, osipovga@mail.ru