

РЕЗУЛЬТАТЫ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 550.7; 553.2; 615.83

**В.Л. Иванова<sup>1</sup>, Л.А. Медведева<sup>2</sup>, Т.Б. Афанасьева<sup>1</sup>,  
Н.Н. Баринов<sup>1</sup>, А.А. Карабцов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток;

<sup>2</sup>Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

RESULTS OF GEOLOGICAL AND BIOLOGICAL RESEARCH  
OF CURATIVE MUD OF PETER THE GREAT BAY

В статье представлены результаты изучения отложений сульфидной лечебной грязи в прибрежной части юго-западного побережья залива Петра Великого. Показано, что наблюдается корреляция мощности грязевых отложений с обилием и видовым разнообразием в их составе диатомовых водорослей, при этом серосодержащие минералы пирит и ярозит являются аутигенными. Изучение проб на микрозонде и электронном микроскопе дало основание считать пирит биогенным.

*Ключевые слова:* **лечебные грязи, диатомей, пирит, ярозит.**

The article presents the results of the study of sulphide deposits of curative mud in the coastal area of south-western coast of the Gulf of Peter the Great. It is shown that there is a correlation power mud deposits with an abundance and diversity in their composition of diatoms, with sulfur-containing minerals pyrite and jarosite are authigenic. The study samples for microprobe and electron microscope has reason to believe biogenic pyrite.

*Key words:* **medicinal mud, diatoms, pyrite, jarosite.**

Лечебные грязи залива Петра Великого известны давно. Ранее они широко применялись в медицинских целях. К примеру, на грязях Амурского залива многие годы успешно работал курорт «Сад-город». К сожалению, в настоящее время он закрыт, поскольку его грязевое месторождение невосстановимо загрязнено техногенными отходами. Залежи кондиционных лечебных грязей, пригодных для промышленной разработки, пока разведаны лишь в пределах акватории бух. Экспедиции [5].

В процессе полевых работ 2001 г., связанных с геоэкологическим изучением Юго-Западного Приморья, нами практически во всех исследованных лагунах и лиманах, особенно в устьевой и приустьевой частях рек и ручьев, на донном грунте были встречены отложения черного сероводородного ила мощностью от нескольких мм до 1 м и более.

Осаждение черных илов на границе смешения морской и пресной (речной, болотной) воды является обычным явлением. Геохимический барьер солености-щелочности в местах впадения ручьев и рек в море приводит в действие сложные химические, механохимические и биологические процессы, в итоге – к соосаждению ряда минералов и органических веществ в виде черной грязи. Так формируется особый вид биокосных систем.

Исследовательских работ, связанных с изучением черных морских илов, судя по литературе, проведено много. Изучались, в частности, биохимические [1, 2, 3], бальнеологические [13] и геолого-геохимические аспекты [7].

Саму возможность существования возникающей биоминеральной системы в значительной мере определяют благоприятные геоморфологические условия береговой зоны [8]. Даже небольшая дуговая отмель – коса выноса из реки – способствует образованию мелководного бассейна, благоприятного для грязевых отложений [9]. Аналогичные процессы происходят на дне бухт и заливов. По данным подводного изучения рельефа и литологии шельфовых отложений в заливе Петра Великого, установлено, в частности, что пелитовые и мелкоалевритовые илы черного и темно-серого цвета, как правило, локализуются в центральных частях закрытых и полузакрытых бухт на глубинах около 10 м и окаймляются широкой полосой более крупнозернистых осадков [14]. При разрушении подобных ловушек биоорганические образования выносятся в открытое море вплоть до подножия континентального склона [12].

В то же время исследований грязевых отложений на начальных стадиях их образования в литературе нам найти не удалось. Между тем, как очевидно, такие исследования могут дать ценную информацию относительно генезиса лечебных грязей, а также для решения проблемы биоминеральных взаимодействий в биосфере.

Следует заметить, что роль биоты в образовании черных морских илов показана в многочисленных предыдущих исследованиях, однако при этом биоминеральные взаимодействия описаны только для бактерий. В то же время вулканологи отмечали роль микроводорослей в биоминеральных системах зон разгрузки газов [11].

Нами при изучении начальных этапов образования лечебных грязей была поставлена задача выяснить, во-первых, какие факторы являются необходимыми для формирования черных грязей и, во-вторых, имеется ли связь между диатомовыми водорослями и минеральным составом донных отложений.

Диатомовые водоросли выбраны из всего разнообразия микробиоты не случайно. Это организмы наиболее доступные, часто встречающиеся и обладающие хорошей сохранныостью в осадках благодаря наличию кремневых створок. Кроме того, они являются также прекрасными показателями состояния окружающей среды.

## Методика отбора проб и анализы

Всего были обследованы 24 точки прибрежной зоны юго-западного побережья залива Петра Великого, включая нижнее течение рек и прибрежные участки солоноватых озер. В сезон 2001 г. пробы были отобраны после периода сильных дождей, которые сильно нарушили гидрогеологическую обстановку в районе работ. На протяжении трех последующих сезонов (2002–2004 гг.) гидрологическая обстановка была спокойной.

Пробы донных отложений отбирались двумя способами: для геохимических и минералогических исследований – в мешочки с последующим высушиванием (маркировка проб «Э»); для определения диатомовых водорослей и дополнительных дифрактометрических анализов – в пластиковые бутылки с герметичными крышками (маркировка «Г»).

Минеральный состав осадков изучался методом просмотра песчано-алевритовых фаз под биноклем, материал пелитовой фракции подвергался дифрактометрическому фазовому анализу (использовался дифрактометр ДРОН-3 с монохроматизированным  $\text{CuK}\alpha$ -излучением). Для идентификации фаз использован программный комплекс PDWin, содержащий сведения о 75000 соединений.

Определение диатомей проводилось специалистом из Биолого-почвенного института ДВО РАН под микроскопом после обработки проб соляной кислотой.

Для решения вопроса об участии диатомей в химическом процессе окисления-восстановления серы проведены исследования вещества проб на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 XVP и на рентгеновском микроанализаторе JXA-8100 (ДВГИ ДВО РАН). Малые размеры минеральных объектов (меньше диаметра рентгеновского пучка) определили невозможность получения количественного анализа минералов, поэтому пришлось ограничиться только данными качественного анализа.

## Обсуждение результатов

Результаты биолого-геологических исследований сведены в таблицах 1, 2.

Диатомеи, обнаруженные во всех пробах, кроме Э-214 (табл. 2), оказались бентосными формами. С большой степенью вероятности их можно считать принадлежащими именно той экосистеме, в которой они были обнаружены. При этом было замечена явная зависимость между мощностью отложений грязи и обилием остатков диатомовых водорослей. В крупных залежах грязи встречаются как солоноватоводные формы (*Nitzschia*, *Navicula* 2, *Amphora*, *Cocconeis scutellum*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Tryblionella*), так и морские (*Melosira*, *Navicula marina*, *Grammatophora*, *Rhopalodia*, *Odontella*). Пресноводные формы представлены единичными экземплярами. В тонких слоях глинистых или грязевых отложений на песчаной подстилке диатомеи или не обнаруживались вовсе или их было очень мало как по численности, так и по видовому разнообразию. Среди них обычны пресноводные формы *Cymbella*, *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Diploneis*, *Fragilaria*, *Synedra ulna*, *Campylodiscus*, реже встречаются солоноватоводные.

В минеральном составе отложений грязи с обилием диатомей преобладал кварц. В определяемых количествах всегда присутствовали также слоистые силикаты и алюмосиликаты (слюда, хлориты, каолинит), а также тонкодисперсные серосодержащие

минералы: пирит, иногда ярозит и гипс. В газовой фазе всегда присутствовал сероводород.

В пробах со следами содержания пирита или слоистых силикатов количество и

Таблица 1.

**Минеральный состав проб (по данным рентгенофазового анализа)  
и сведения о наличии диатомовых водорослей**

Место отбора	№ пробы	Диатомовые водоросли	Минеральный состав пелитовой фракции	Примечания
Устье р. Амба	Э-110	Единичные; 4 вида	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, слюда, каолинит-хлорит, <i>пирит</i>	2001 г. Свежие наносы после тайфуна
Бух. Нарва, р. Нарва	г-2 черн.	Много; 4 вида, пресноводные, морские, солоновато-водные	<b>Кварц</b> , плагиоклаз (альбит), пирит, хлорит-каолинит, галит, <i>слюда, смектит</i>	2001 г. Устье р. Нарва
	г-2 желт.	–	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, галит, каолинит-хлорит, слюда	2001 г. Проба без верхнего черного слоя
	Э-148	–	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, амфибол, <i>слюда, каолинит-хлорит</i>	2001 г. Русло реки выше приливной зоны
	г-3, Э-154	Единичные; 1 вид, пресноводные	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, слюда, каолинит-хлорит, <i>пирит, ярозит</i>	2001 г. Ручеек на пляже.
	г-4, Э-155	Немного; 4 вида: пресноводные	<b>Кварц</b> , каолинит-хлорит, плагиоклаз, слюда, <i>пирит</i>	2001 г. Протока в лагуну Цапличья
Бух. Мелководная	г-5	Много; 15 видов; пресноводные, солоновато-водные	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, слюда, каолинит-хлорит, <i>пирит, гипс, смектит</i>	2001 г. Устье протоки кл. Барсовый
	Э-160	–	<b>Кварц</b> , слюда, ярозит, каолинит-хлорит, <i>плагиоклаз</i>	2001 г.
	Э-161	–	<b>Кварц</b> , каолинит-хлорит, смектит, слюда, <i>плагиоклаз</i>	2001 г. Коса выноса протоки кл. Барсовый.
	г-6 Э-162	Единичные; 2 вида: пресноводные	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, каолинит-хлорит, смектит, слюда	2001 г. Коса выноса р. Малютинка
Лиман р. Брусья	г-10	Много; 6 видов; солоновато-водные и морские	<b>Кварц</b> , слюда, каолинит-хлорит, плагиоклаз, пирит, <i>смектит</i>	2001, 2003 гг. Левобережье р. Брусья, устье
	Э-203	–	<b>Кварц</b> , галит, ярозит, пирит, слюда, каолинит-хлорит, <i>плагиоклаз</i>	2003 г. Ручей в пойме р. Брусья, 600 м выше устья
	г-11	Много; 10 видов; солоновато-водные и морские	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, хлорит, пирит, слюда, <i>смектит</i>	2003 г. М. Андреева

Место отбора	№ пробы	Диатомовые водоросли	Минеральный состав пелитовой фракции	Примечания
Бух. Экспедиции	г-12	Мало; 4 вида; солоноватоводные и морские	<b>Хлорит</b> , кварц, слюда, пирит, <i>плагиоклаз, смектит</i>	2003 г. М. Низкий, лагуна
	г-17, Э-220	Мало; 4 вида; пресноводные (преобладают) и солоновато-водные	<b>Кварц, галит</b> , слюда, каолинит-хлорит, ярозит, <i>гипс, плагиоклаз, пирит</i>	2004 г. Р. Болотная, приливная зона
	г-16, Э-219, Э-218	Мало; 4 вида; пресноводные (преобладают) и солоновато-водные	<b>Галит, гипс, кварц, плагиоклаз, слюда, каолинит-хлорит, пирит</b>	2004 г. Р. Болотная, устье, коса Назимова
	Э-214	Мало; 2 вида; пресноводные планктонные	Глинистых отложений практически нет	2004 г. Коса Назимова
бух. Рейд Паллада	г-7	Мало; 3 вида; пресноводные	<b>Кварц</b> , слюда, пирит; <i>амфибол, каолинит, смектит</i>	2001 г. Оз. Соленое с протокой в бух. Новгородская
Бух. Новгородская	г-14	1 вид: пресноводная	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, пирит, хлорит, <i>слюда и смектит</i>	2003 г. П-ов Краббе, устье ручья
	Э-226	–	<b>Кварц, галит, CaSO<sub>4</sub>, слюда, каолинит-хлорит, гипс, плагиоклаз</b>	2004 г. Перешеек п-ов Краббе
	г-19	Много; 7 видов; пресноводные и солоновато-водные	<b>Кварц</b> , хлорит-каолинит, слюда, плагиоклаз, гипс, пирит, <i>смектит, троилит (?)</i>	2004 г. Перешеек п-ов Краббе
	Э-125	Не обнаружены	<b>Кварц</b> , слюда, каолинит-хлорит, <i>плагиоклаз, ярозит, пирит, смектит</i>	2001 г. Южная часть, протока
Оз. Соленое	Э-133	Не обнаружены	<b>Кварц, плагиоклаз, каолинит-хлорит, смектит</b>	2001 г. Северо-восточная часть
	г-18, Э-221	Мало; 3 вида: солоновато-водные (преобладают) и пресноводные	<b>Кварц, галит, CaSO<sub>4</sub>, каолинит-хлорит, гипс, пирит, плагиоклаз, смектит, слюда,</b>	2004 г. Протока в бух. Экспедиции
	Э-222, Э-223	Не обнаружены	<b>Кварц</b> , каолинит-хлорит, смектит, <i>слюда, плагиоклаз</i>	2004 г. Южная часть
	Э-212	–	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, каолинит-хлорит, смектит, слюда, <i>гипс, амфибол</i>	2004 г. Русло
Р. Тесная, бух. Экспедиции	Э-213	–	<b>Кварц</b> , каолинит-хлорит, смектит, <i>гипс, плагиоклаз</i>	2004 г. Русло, возможно поступление приливной воды
	г-15	Много; 20 видов: пресноводные и солоновато-водные	<b>Кварц</b> , плагиоклаз, каолинит-хлорит, смектит, слюда, <i>гипс, пирит</i>	2004 г. Русло, приливная зона

**Примечание.** Жирный шрифт – преобладающие минералы, курсив – следы минералов, прочерк – данные не анализировались.

Таблица 2

## Сообщества диатомовых водорослей

Проба	Обнаруженные водоросли	Встречаемость	Характеристика пробы
г-2	Cocconeis scutellum, Melosira nummuloides Navicula sp., Asterionella formosa	Много	Пресноводные, морские, солонowodные
г-3	Gomphonema sp.	Единичные	Пресноводные
г-4	Gomphonema sp., Cymbella sp., Nitzschia sp., Pinnularia sp.	Немного	Пресноводные
г-5	Epithemia sp., Gomphonema sp., Cymbella sp., Diploneis sp., Fragilaria sp., Pinnularia sp., Nitzschia sp., Navicula sp. 2, Amphora sp., Cocconeis scutellum, Rhoicosp.henia abbreviata, Tryblionella sp., Melosira sp.	Много	Пресноводные, солоновато-водные
г-6	Gomphonema sp., Tabellaria fenestrata	Единичные	Пресноводные
г-7	Navicula sp. 2, Pinnularia, Amphora	Мало	Пресноводные
г-10	Pleurosigma sp., Navicula marina, Cocconeis scutellum, Nitzschia sp., Amphora sp. Synedra ulna	Много	Полоновато- водные и морские, только единичные пресноводные
г-11	Cocconeis scutellum, Navicula sp., Actino- cyclus sp., Cyclotella sp., Navicula marina, Grammatophora sp., Amphora sp., Rhopalodia sp., Tryblionella sp., Odontella sp.	Много	Солоновато-водные и морские
г-12	Amphora sp., Navicula sp., Nitzschia sp., Grammatophora sp.	Мало	Солоновато-водные и морские
г-14	Nitzschia sp.	Единичные	—
г-15	Tabellaria fenestrata Navicula sp. 1, sp. 2, sp. 3 Nitzschia sp. Pinnularia viridis Eunotia bilunaris Neidium sp. Diatoma elongatum Navicula pygmaea Encyonema silesiaca Fragilaria vaucheriae Fragilaria sp. Meridion circulare var. constrictum Cymbella turgidula Synedra ulna (обломки) Cocconeis placentula Asterionella formosa Epithemia sp. Melosira sp.	1 1, 1, 1 2 1 2 1 2 2 Много Много 2 1 2 1 1 1 1 1	Бентосные виды, смесь пресноводных и солоновато-водных с преобладанием пресноводных Все виды – показатели чистых и относительно чистых вод
г-16	Nitzschia sp. Pinnularia sp. Aulacoseira sp. Cocconeis sp.	1 1 1 1	Пресноводные преобладают, но присутствуют и солоновато-водные
г-17	Aulacoseira sp. Synedra ulna (обломки) Fragilaria sp. Amphora sp.	1 1 1 1	Пресноводные преобладают, но присутствуют и солоновато-водные

Проба	Обнаруженные водоросли	Встречаемость	Характеристика пробы
Э-110	<i>Synedra ulna</i> , <i>Nitzschia</i> sp., <i>Campylodiscus</i> sp., <i>Cocconeis scutellum</i>	Единичные	–
г-18	<i>Nitzschia</i> sp. обломки <i>Aulacoseira</i> sp. <i>Cocconeis scutellum</i>	1 1 1	Преобладают солоновато-водные, но присутствуют и пресноводные
г-19	<i>Achnanthes</i> sp. <i>Fragilaria</i> sp. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Eunotia</i> sp. <i>Navicula</i> sp. <i>Mastogloia</i> sp. <i>Amphora</i> sp.	1 1 1 1 1 1	В равной степени присутствуют пресноводные и солоновато-водные виды
Э-214	<i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Asterionella formosa</i>	1 1	Пресноводные планктонные виды
Э-222, 212, 213, 223, 125, 133	Водоросли не обнаружены		

**Примечание.** Прочерк – данные не анализировались.

видовой состав диатомовых водорослей резко уменьшается. Это было хорошо видно при сравнении донных отложений из приустьевых лагун и прибрежных озер (где геохимический барьер морская–пресная вода способствует накоплению пелитовых осадков) и отложений, отобранных из солоновато-водных озер, где этот барьер действует слабо.

Серосодержащие минералы пирит и ярозит являются аутигенными для изучаемых биоминеральных систем. Этот вывод вытекает из того факта, что пробы русловых отложений, взятые выше приливной зоны (Э-148, Э-212, Э-213), этих минералов не содержат. Пирит и ярозит не обнаружены также в отложениях, подстилающих черный ил (см. табл. 1, пробы Г-2желт. по сравнению с Г-2черн.), что дает основание считать их устойчивыми только внутри данной биоминеральной системы. Не исключено, что в данном случае мы имеем дело с постоянным процессом распада и сборки этих минералов, подобным процессу образования Fe-органических комплексов [3]. Появление в пробах гипса оказалось незакономерным. Мы не исключаем вероятности, что гипс кристаллизуется в процессе пробоподготовки.

Исследователи морских донных отложений считают, что черный цвет илу придает гидротроилит [6, 7]. К сожалению, гидротроилит (гидрат моносульфида железа) является рентгеноаморфным веществом, поэтому обнаружить его дифрактометрическим методом нельзя. Поскольку кристаллические моносульфиды железа могут быть только в виде троилита или макинавита, мы предприняли попытку найти их. Самый тщательный анализ дифрактограмм показал, что сколько-нибудь значимые количества этих минералов в пробах отсутствуют. Исключением была лишь одна проба Г-19, в которой следы троилита можно считать достоверными. Тем не менее не исключены их содержания ниже уровня чувствительности прибора.

Кроме иловой грязи, характерной для устьев рек, нами обнаружен другой ее тип, формирующийся на морском мелководье, заросшем морской травой (*Zostera* sp.). В бух. Новгородская, как и в бух. Экспедиции, наблюдается обилие зарослей zostеры. В этих же бухтах непосредственно на песке при практически полном отсутствии пели-

товой фракции имеются мощные отложения разлагающихся остатков морской травы, которые вносят существенный вклад в образование широко распространенных здесь черных грязевых залежей. Как показали исследования на сканирующем электронном микроскопе, пирит в таких травяных гязях присутствует в едва уловимых количествах, ярозит не встречается, однако гипс присутствует часто.

В большинстве проб донных отложений под биноклем наблюдается налипание алевритового и пелитового минеральных веществ на мелкие частицы детрита с образованием комочков разной формы. Вероятнее всего, «клеем» для таких комочков является слизь, обволакивающая все водные растения и их фрагменты.

Детальное изучение иловой и травяной гязи с помощью электронного микроскопа с рентгеновским микроанализатором позволило выявить следующее. В иловой гязи пирит всегда присутствует в виде фрамбоидов (стяжения в виде шариков, напоминающие формой кисть винограда) размером менее 1 мкм. Такие «кисти» могут быть разной формы: чаще округлые, редко встречаются отдельные шарики (рис. 1). Поскольку неравномерное распределение фрамбоидов по пробе и широкий разброс содержания пирита между пробами явно противоречат возможности химического осаждения пирита из раствора, из чего следует, что фрамбоиды имеют биогенное происхождение. Вероятнее всего они являются результатом процесса биоминерализации сульфатредуцирующих бактерий, живущих колониями.

Выявлено также, что биогенный пирит появляется только в достаточно зрелых системах только при достаточной мощности отложений и в присутствии тонкодисперсных глинистых минералов. Молодые (3 года) отложения гязи уже содержат обилие кремнистых скелетов диатомей с примесью теригенных минералов.

В травяной гязи фрамбоидов пирита нами не выявлено. Пирит в этих гязях встречается редко и только в виде зерен иной формы и структуры (рис. 2).

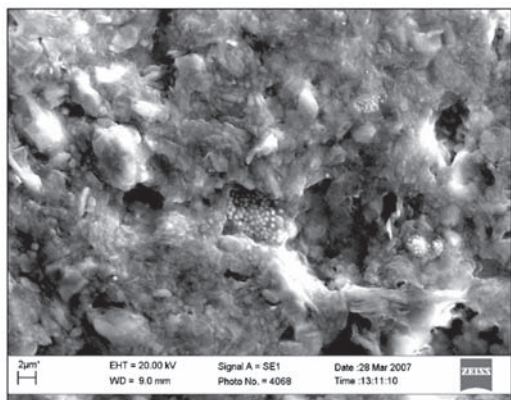


Рис. 1. Фрамбоиды пирита на пластинках биотита

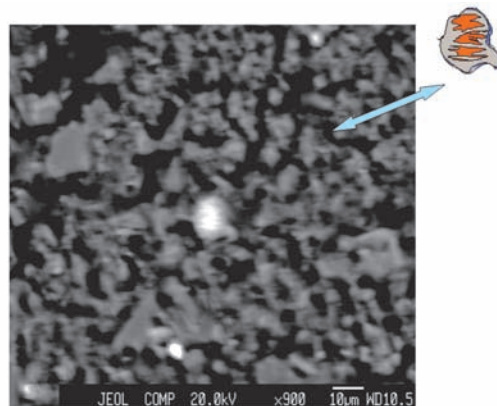


Рис. 2. Форма зерен пирита в травяной гязи

Диатомовые водоросли не имеют локальной пространственной, а значит и прямой генетической связи с биогенным пиритом. Тем не менее они способствуют созданию биоминеральной системы и заселению ее сульфатредуцирующими бактериями.

Форму выделения ярозита установить не удалось. Вероятнее всего, он присутствует как примесь в тонкодисперсной, почти коллоидной, фазе каолинит-хлоритовых отложений, содержащих в своем составе небольшие количества К, Fe, S.

Что касается влияния антропогенного загрязнения бассейнов непосредственно на диатомовые водоросли, то в процессе проведенных работ мы заметили, что при-



сутствующие в осадках нефтепродукты склеивают глинистый материал в комочки и корочки, нарушая гранулометрический состав отложений. В этих случаях диатомеи тоже практически отсутствовали.

## **Выводы**

Отложения лечебной грязи в прибрежной зоне залива Петра Великого являются биоминеральными системами. Они образуются и развиваются в зоне смешения морской и пресной воды в процессе взаимодействия микробиоты с пелитовой фракцией минерального вещества, выносимого пресноводными потоками (иловая грязь), или при разложении на дне отмирающей морской травы (травяная грязь). Стартовую роль при образовании биоминеральной системы играют диатомовые водоросли. В дальнейшем осадок заселяется сульфатредуцирующими бактериями, образующими фрамбониды пирита. Условия формирования травяной грязи иные, чем иловой. Отсутствие в ней фрамбонидов пирита косвенно указывает на участие других видов бактерий.

## **Литература**

1. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Курпичев К.Б.* Органическое вещество донных осадков Кандалакшского залива Белого моря // *Геохимия*. 2002. № 7. С. 734-741.
2. *Андреева Н.М., Агатова А.И.* Органическое вещество в донных осадках залива Посьета (Японское море) // *Биология моря*. 1981. № 2. С. 40-49.
3. *Антипов Б.Г., Клеменкова З.С., Седаева К.М.* О динамической природе биоминерализации под влиянием нанопримесей переходных элементов, содержащихся в биосистемах // *Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Материалы II Международного симпозиума*. Санкт-Петербург, 2004. С. 5-7.
4. *Антипов Б.Г., Седаева К.М., Клеменкова З.С.* Влияние нанопримесей переходных элементов, содержащихся в биосистемах, на биоминерализацию // *Минералогия и жизнь: биоминеральные гомологии*. Сыктывкар: Геопринт, 2000. С. 62-63.
5. *Васильченко В.Ф.* Месторождение лечебных грязей бухты Экспедиции. – <http://www.fegi.ru/ecology/zv/index.htm>.
6. *Волков И.И.* Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука. 1984. 272 с.
7. *Гурский Ю.Н.* Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т.1. М.: ГЕОС. 2003. 332 с.
8. *Иванова В.Л.* Природные системы и геоэкология. Владивосток: Дальнаука, 2000. 84 с.
9. *Иванова В.Л.* Биоминеральные взаимодействия при образовании лечебной грязи // *Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Материалы I Международного симпозиума*. Санкт-Петербург, 2002. С. 70-73.
10. *Иванова В.Л., Баринов Н.Н., Карабцов А.А., Афанасьева Т.Б.* Серосодержащие биоминералы в зонах прибрежно-морского осадконакопления // *Материалы IV Международного минералогического семинара «Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров, биоминералогия»*. Сыктывкар, 2007. С. 96.
11. *Кутузова Р.С., Вергасова Л.П., Филатов С.К.* Представители микробного биоценоза, причастные к преобразованиям изверженной базальтовой породы // *Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Материалы I Международного симпозиума*. Санкт-Петербург, 2002. С. 83-88.
12. *Лисицын А.П.* Микро- и наночастицы в мировом океане // *Минералогическая интервенция в микро- и наномир*. Сыктывкар, 2009. С. 211-213.
13. *Мурадов С.В.* Формирование и биологическая активность грязе-иловых отложений. Экология и микробиология. Владивосток: Дальнаука, 2000. 91 с.
14. *Петренко В.С., Шуйский Ю.Д., Мануйлов В.А.* Современные осадки бухт Южного Приморья // *Современное осадконакопление и четвертичный морфолитогенез Дальнего Востока*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 154-164.