

On the features of authigenic minerals in bottom sediments of lakes formed during nival, humid and arid types of sedimentogenesis



Strakhovenko V.D.^{1*}, Ovdina E.A.¹, Malov G.I.¹, Malov V.I.¹, Subetto D.A.², Belkina N.A.^{2,3}

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (RAS), 3 Akad. Koptyug Pr., Novosibirsk, 630090 Russia

² Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb., Saint-Petersburg, 191186, Russia

³ Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 50 Alexander Nevsky Pr., Petrozavodsk, 185030, Russia

ABSTRACT. The comparison of autigenic minerals from the bottom sediments of lakes located under conditions of nival, humid and arid sedimentation is carried out. The long-term presence of ice cover on the lake, which prevents the mixing of water masses, the introduction of terrigenous material, oxygen-free conditions in the residual part of the waters under the ice and their local supersaturation with gases, makes it possible to form autigenic minerals in fresh waters of lakes located under conditions of nival, humid and arid sedimentation. The shape of the crystalline aggregates of the newly formed phases is determined by the conditions of their crystallization, mainly by the ionic composition of the residual water and microbiological factors.

Keywords: mall lakes; autigenic minerals; bottom sediments; nival, humid and arid sedimentation

For citation: Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov G.I., Malov V.I., Subetto D.A., Belkina N.A. On the features of authigenic minerals in bottom sediments of lakes formed during nival, humid and arid types of sedimentogenesis // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 700-705. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-700

1. Introduction

Nikolay M. Strakhov, Vladimir I. Vernadsky, Alexander P. Lisitzin and other scientists pointed out the multiphase nature of modern sedimentation in their works (Strakhov, 1954; Lisitzin, 2010). It is shown that the destruction of rocks is carried out in different ways in the humid, arid, and ice zones of the continents, and basically, the processing of organic matter by microbiological means is the driving force behind the formation of new mineral phases.

2. Materials and methods

This article discusses the features of modern mineral formation in bottom sediments of small lakes (56) located in conditions of nival, humid, and arid sedimentogenesis using the example of selected model lakes (with a similar composition of autigenic minerals, ash content, basic water ions, etc.). The samples of bottom sediments were selected in the period 1995-2023

y. in the different small lakes of Siberia and Republic Karelia (Lake Onego and 11 small lakes). Analytical studies were carried out in the Analytical Centre for Multi-Elemental and Isotope Research of the SB RAS (IGM, Novosibirsk). The major and trace element compositions were studied using the atomic absorption and the ICP-MS methods. A detailed study of the structural features, the morphology at the level of individual mineral grains of the *suspended matter* was carried out using scanning electron microscope (SEM). The specific modification of the equipment used an Si(Li) energetic detector, enabling quantitative chemical analysis to be carried out on micro volumes.

3. Results and discussions

There is the presence of autigenic minerals in almost all lakes from located in conditions of nival, humid, and arid sedimentogenesis by the study of samples of bottom sediments of lakes investigated the modern complex of mineralogical methods.

*Corresponding author.

E-mail address: strahova@igm.nsc.ru (V. Strakhovenko)

Received: June 03, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Opal or chalcedony, formed due to biogenic SiO_2 of fragments of shells of diatoms or macrophytes, is added to grains of terrigenous quartz in the bottom sediments of lakes located in conditions of nival, humid, and arid sedimentogenesis.

Pyrite is the second autigenic mineral that is present in the bottom sediments of lakes formed under conditions of all types of sedimentation. Pyrite occurs in the form of individual crystals, groups of crystals of octahedral, cubic, pentagonal decahedral shape (size from 1 to 2 microns) and frambohedra of different sizes in the bottom sediments of lakes formed during nival sedimentation, as well as in the case of humid and arid types of sedimentogenesis (Fig.1). The composition of pyrite usually corresponds to the formula, sometimes at the initial stage of framboid formation, water up to 5% is apparently present.

The formation of autochthonous organic matter in the water of lakes and its further transformations by microbiological means can be accompanied by the formation of autigenic carbonates of calcite-dolomite series, aragonite, siderite, rhodochrosite and magnesite in all lakes from located in conditions of nival, humid, and arid sedimentogenesis (Fig. 2). In lakes with water mineralization <1 g/l, the buried organic matter, decomposing during the ice cover of the waters, provides sharply reducing conditions in the bottom waters, especially in zones of the nival type of sedimentogenesis, which leads to the formation of case, skeletal and

dendrite forms during the formation of metacrystals of carbonates (Fig. 2), sulfates (gypsum and anhydrite) (Fig. 3) and barite (Fig. 4a, b).

The mobility of factors (zones of local super saturation of residual waters with gases, which is created due to a decrease in temperature, increased salinity of water due to freezing, decomposition of organic matter, anoxic conditions, etc.) determine the various forms of metacrystals, and sometimes the zonal structure of aggregates (Fig. 2b, 3). In cases of crystallization of mineral phases of carbonates, sulfates and other salts from solution under conditions of very sharp super saturation (with initial high mineralization of water >5 g/l) when part of the water freezes, cryptocrystalline (curdled) dolomite deposits are formed (Fig. 4c), finely needle-shaped gypsum aggregates (Fig. 3c). Ice cover on the water, which prevents the mixing of water masses, the introduction of terrigenous material and its hurricane flow during ice melting, disrupts the sequence of salt deposition from carbonates to halite and makes possible the joint association of metacrystals of gypsum, calcite, halite, and dolomite.

4. Conclusions

The variability of natural factors (long-term presence of ice cover on lakes, which prevents watering and the supply of terrigenous material, the anoxic situation in residual waters with local zones of gas super satura-

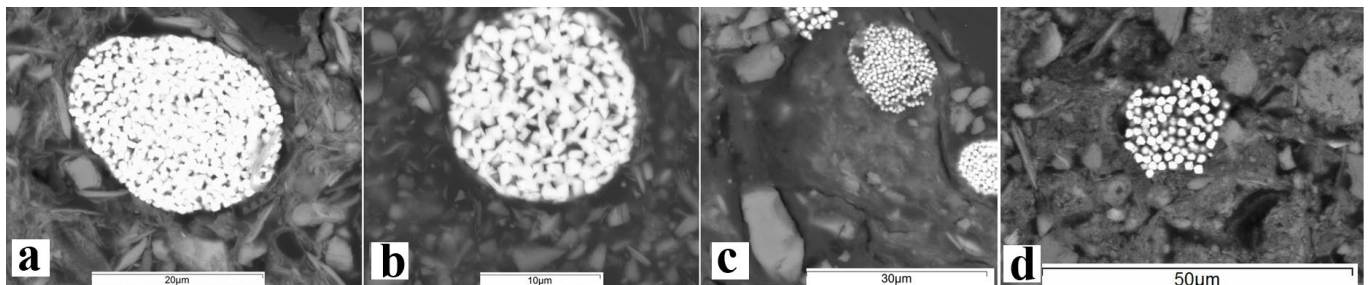


Fig.1. Electron microscope images: a - framboid pyrite formations are spherical aggregates of densely packed microcrystals having a rounded shape at the initial stage of formation in the bottom sediments of Lake Teplyj Klyuch in nival sedimentogenesis; b – framboid pyrite formations in varve clay of the Onego Ice Lake in nival sedimentogenesis; c - framboid pyrite in bottom sediments of Lake Bazovoe Shuchie in humid sedimentogenesis; d -- framboid pyrite in bottom sediments of Lake Tanatar 6 in arid sedimentogenesis.

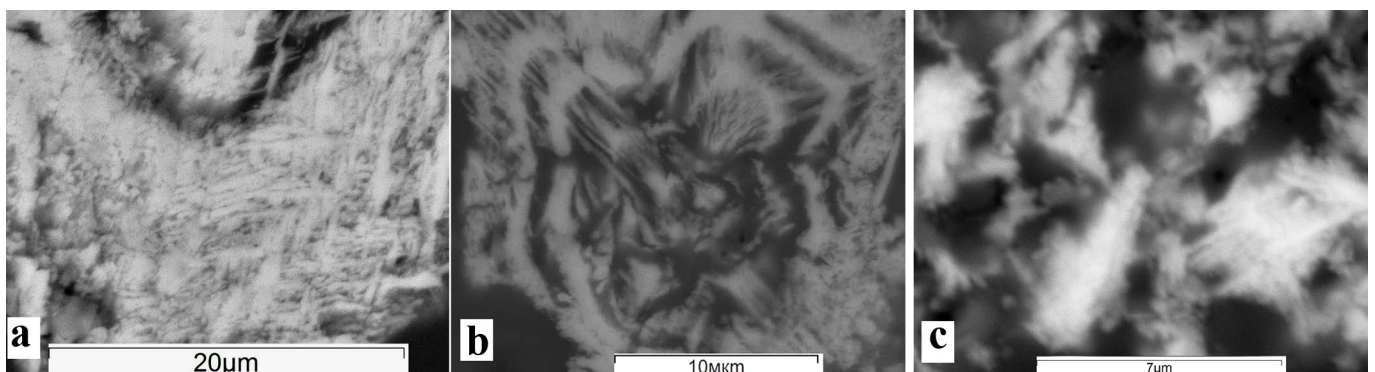


Fig.2. Electron microscope images: a - dendrite (polycrystalline) aggregates consisting of thin plates of calcite in bottom sediments of Lake Bolshoe Tarkhatinskoe in nival sedimentogenesis; b – radially radiant concentric-zonal spherulite of calcite from Lake Danilovo” sediments, formed in humid sedimentogenesis; c - dendrite (polycrystalline) aggregates consisting of thin plates of calcite in bottom sediments of Lake Rublevo in arid sedimentogenesis.

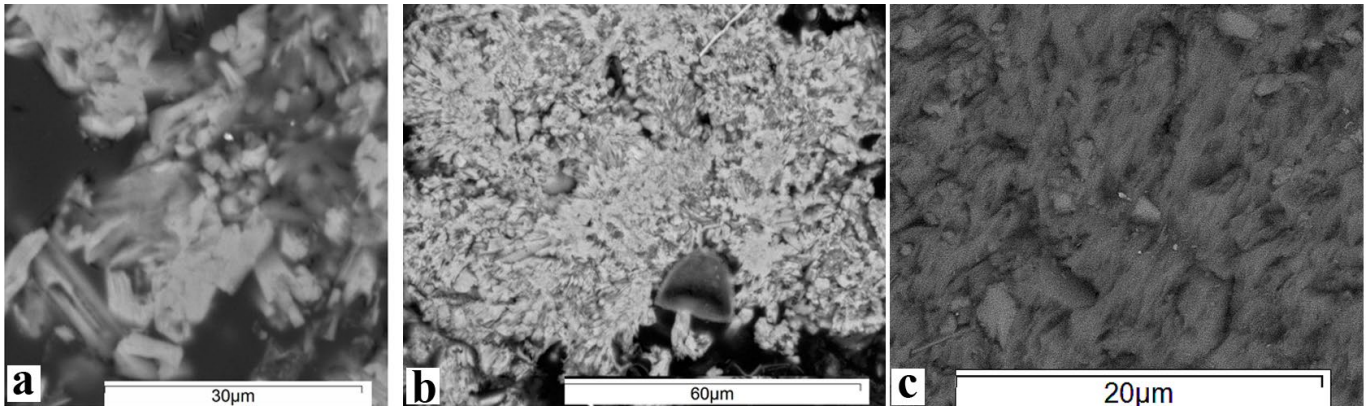


Fig.3. Electron microscope images: a - skeletal forms of gypsum metacrystals in bottom sediments of Lake Argamdzhi in nival sedimentogenesis; b – druse aggregate of metacrystals with case forms of anhydrite in bottom sediments of Lake Maloe Shuchie in humid sedimentogenesis; c - fusion of thin-plate gypsum crystals in bottom sediments of Lake Kurechie in arid sedimentogenesis.

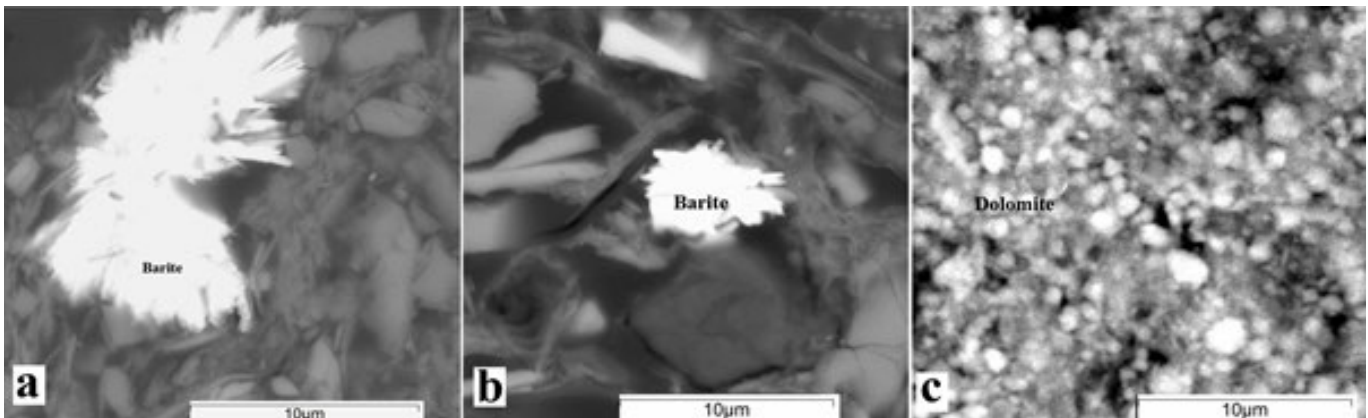


Fig.4. Electron microscope images: a - radially radiant fusion of barite plates in bottom sediments of Lake Maloe Tarkhatinskoe in nival sedimentogenesis; b – radially radiant fusion of barite plate in bottom sediments of Lake Peschanoe in humid sedimentogenesis; c - curdled aggregates of dolomite in bottom sediments of Lake Tanatar6 in arid sedimentogenesis.

tion, caused by the transformation of organic matter) provide the possibility of crystallization of authigenic minerals in the fresh waters of lakes located in nival, humid and arid sedimentogenesis, and determines the shape of crystalline aggregates of newly formed phases. At the same time, the sequence of precipitation of salts, from carbonates to sodium chloride, is dictated not so much by pH–Eh values, but by the ionic composition of freezing water and microbiological means. Chemical differentiation of the material in the bottom sediments is not manifested.

Acknowledgements

The study was carried out at the expense of a Russian Science Foundation grant № 23-27-00111, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00111/>.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Lisitzin A.P. 2010. Marine ice-rafting as a new type of sedimentogenesis in the Arctic and novel approaches to studying sedimentary processes. *Russian Geology and Geophysics* 51(1): 12–47. DOI: [10.1016/j.rgg.2009.12.002](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.002)
- Strakhov N.M. 1954. *Obshhaya skhema sedimentatsii v sovremennykh moryakh i ozerakh maloj mineralizatsii. Obrazovanie osadkov v sovremennykh vodakh* [The general scheme of sedimentation in modern seas and lakes of low mineralization. Precipitation formation in modern waters]. Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR. (in Russian)

Особенности образования аутигенных минералов в донных отложениях озер, сформировавшихся в ходе нивального, гумидного и аридного типов седиментогенеза

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYСтраховенко В.Д.^{1*}, Овдина Е.А.¹, Малов Г.И.¹, Малов В.И.¹,
Субетто Д.А.², Белкина Н.А.^{2,3}¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Новосибирск, пр. ак. Коптюга 3, 630090, Россия² Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки 48, 191186, Россия³ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, пр. Александра Невского 50, 185030, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведено сравнение аутигенных минералов из донных отложений озер, расположенных в условиях нивального, гумидного и аридного осадконакопления. Длительное нахождение на озере ледяного покрова, препятствующего перемешиванию водных масс, внесению терригенного материала, бескислородные условия в остаточной части вод подо льдом и их локальное перенасыщение газами, делает возможным образование аутигенных минералов в пресных водах озер, расположенных на глубине 100-150 км. в условиях нивального, влажного и засушливого осадконакопления. Форма кристаллических агрегатов новообразованных фаз определяется условиями их кристаллизации, главным образом ионным составом остаточной воды и микробиологическими факторами.

Ключевые слова: малые озера; аутигенные минералы; донные отложения; нивальный, гумидный и аридный типы седиментогенеза

Для цитирования: Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов Г.И., Малов В.И., Субетто Д.А., Белкина Н.А. Особенности образования аутигенных минералов в донных отложениях озер, сформировавшихся в ходе нивального, гумидного и аридного типов седиментогенеза // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 700-705. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-700

1. Введение

Н.М. Страхов, В.И. Вернадский, А.П. Лисицын и другие ученые в своих работах указывали на многофазный характер современного осадконакопления (Страхов, 1954; Лисицын, 2010 и др.). Показано, что преобразование горных пород осуществляется по-разному в зонах континента с различным типом седиментогенеза (гумидный, аридный и нивальный), и движущей силой образования новых минеральных фаз в донных отложениях является микробиологическая переработка органического вещества.

2. Материалы и методы

В данной статье рассматриваются особенности современного минералообразования в донных отложениях малых озер (56), расположенных в

условиях нивального, гумидного и аридного седиментогенеза, на примере отобранных модельных объектах (со сходным составом аутигенных минералов, зольностью, основными ионами воды и др.). Образцы донных отложений отобраны в период 1995-2023 гг. в малых озерах Сибири и Республики Карелия (Онежское озеро и 11 озер). Аналитические исследования проводились в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН, Новосибирск. Содержания макро и микроэлементов изучены с использованием атомно-абсорбционного и ICP-MS методов. Детальное изучение структурных особенностей, морфологии на уровне минеральных зерен проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), оборудованного энергетический детектор Si(Li), позволяющий проводить количественный химический анализ на микрообъемах.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: strahova@igm.nsc.ru (В.Д. Страховенко)

Поступила: 03 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



3. Результаты и обсуждение

Изучение донных отложений комплексом современных минералогических методов выявило наличие аутигенных минералов практически во всех озерах, расположенных в условиях нивального, гумидного и аридного седиментогенеза. Фрагменты створок диатомовых водорослей или макрофитов, сложенных $\text{SiO}_{2\text{био}}$, добавляют к зернам терригенного кварца опал или халцедон в сапропелевые залежи озер, расположенных в условиях нивального, гумидного и аридного седиментогенеза. Пирит - второй по распространенности аутигенный минерал в донных отложениях озер, формирующихся в условиях всех типов осадконакопления. Пирит встречается в виде отдельных кристаллов, групп кристаллов октаэдрической, кубической, пентагондодокаэдрической формы (размером от 1 до 2 мкм) и фрамбоэдров (сферические агрегаты плотно упакованных микрокристаллов округлой формы), разного размера в донных отложениях озер (Рис. 1). Состав пирита обычно соответствует формуле, иногда на начальной стадии образования фрамбоида, по-видимому, присутствует до 5% воды.

Образование автохтонного органического вещества в воде озер и дальнейшие его преобразования микробиологическим путем может сопровождаться осаждением аутигенных карбонатов кальцит-доломитового ряда, арагонита в озерах, расположенных в условиях нивального, гумидного и аридного типа седиментогенеза (Рис. 2). В озерах, даже с минерализацией воды < 1 г/л, осевшее

на дно органическое вещество и разлагающееся в период ледяного покрова вод, обеспечивает резко восстановительные условия в придонных водах, особенно в зонах нивального типа седиментогенеза, что приводит к образованию скелетных, дендритовых форм метакристаллов карбонатов (Рис. 2), сульфатов (гипса и ангидрита) (Рис. 3) и барита (Рис. 4 а, б).

Мобильность факторов (зоны локального пересыщения остаточных вод газами, которое создается за счет понижения температуры, повышения минерализации вод за счет вымерзания, разложения органического вещества, бескислородных условий и др.) определяют различные формы метакристаллов, а иногда и зональное строение агрегатов (Рис. 2б, 3). В случаях кристаллизации минеральных фаз карбонатов, сульфатов и других солей из раствора в условиях очень резкого пересыщения (при начальной высокой минерализации вод (> 5 г/л) при вымерзании части воды, образуются скрытокристаллические выделения (творожистые) доломита (Рис. 4в), тонкоигольчатые агрегаты гипса (Рис. 3в). Ледяной покров в зимний период препятствует перемешиванию водных масс и привнесу терригенного материала. В весенний период при таянии льда создаются условия для ураганного поступления кластического материала, нарушается последовательность отложения солей от карбонатов до галита и делается возможным совместная ассоциация метакристаллов гипса, кальцита, галита и доломита.

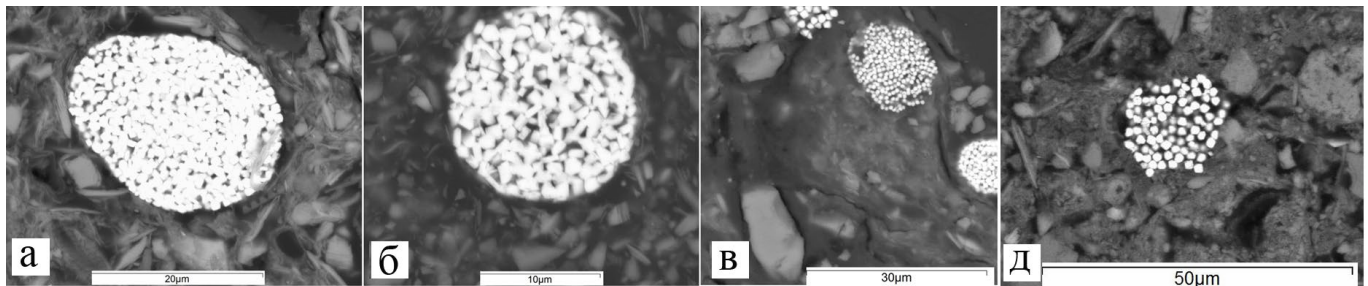


Рис.1. Изображения СЭМ: а - фрамбоидр пирита в донных отложениях оз. Теплый Ключ, расположенного в нивальном типе седиментогенеза; б – фрамбоидр пирита в ленточных глинах Онежского озера в нивальном типе седиментогенеза; в - фрамбоидры пирита в донных отложениях оз. Базовое Щучье в гумидном типе седиментогенеза; д - фрамбоидр пирита в донных отложениях оз. Танатарб в аридном типе седиментогенеза.

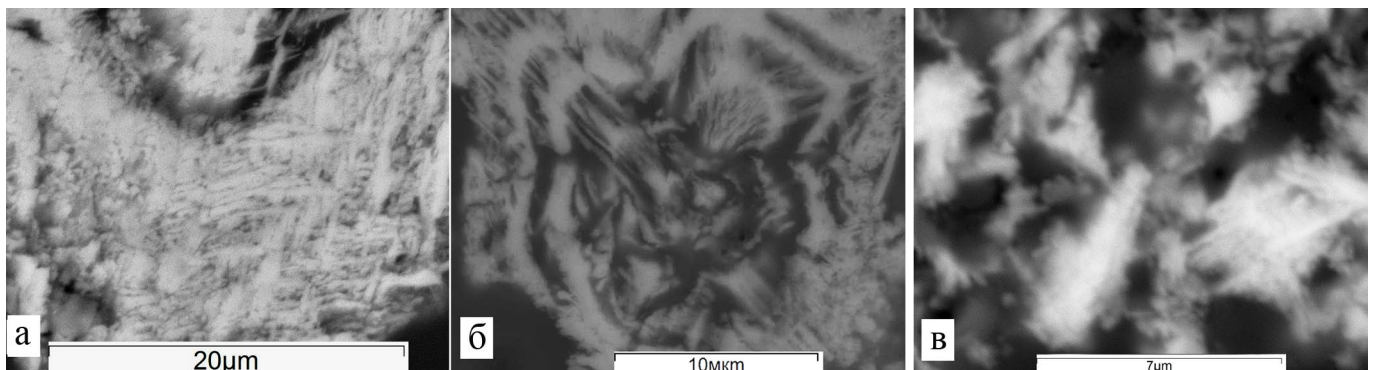


Рис.2. Изображения СЭМ: а - дендритные (поликристаллические) агрегаты, состоящие из тонких пластинок кальцита в донных отложениях оз. Большое Тархатинское в нивальном седиментогенезе; б – радиально-лучистые концентрически-зональные сферолиты кальцита оз. Данилово в гумидном седиментогенезе; в - дендритные (поликристаллические) агрегаты, состоящие из тонких пластинок кальцита в донных отложениях оз. Рублево в аридном седиментогенезе

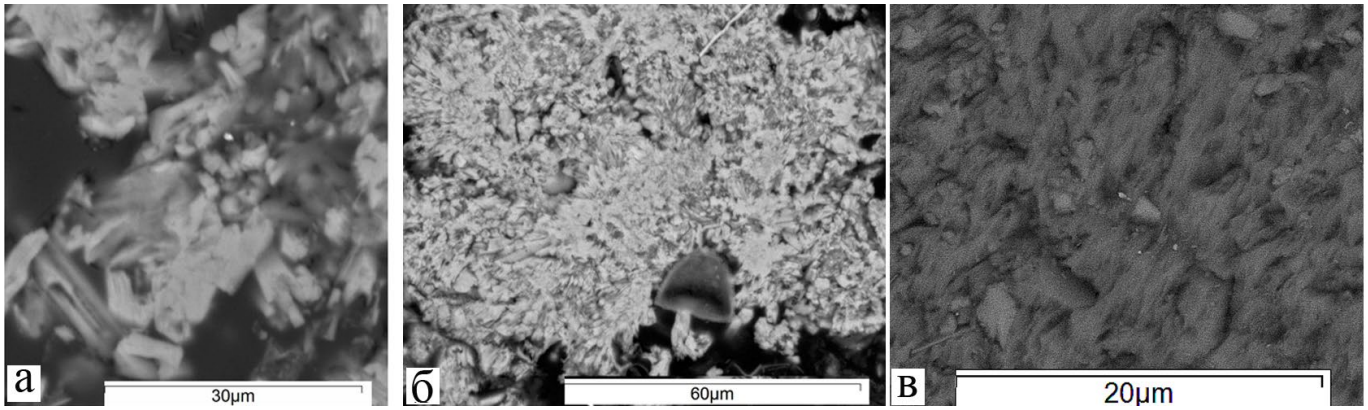


Рис.3. Изображения СЭМ: а - скелетные формы метакристаллов гипса в донных отложениях оз. Аргамджи в нивальном седиментогенезе; б – дроздовый агрегат метакристаллов с футлярными формами ангидрита в донных отложениях оз. Малое Щучье в гумидном седиментогенезе; в - срастания тонкопластинчатых кристаллов гипса в донных отложениях оз. Куречье в аридном седиментогенезе.

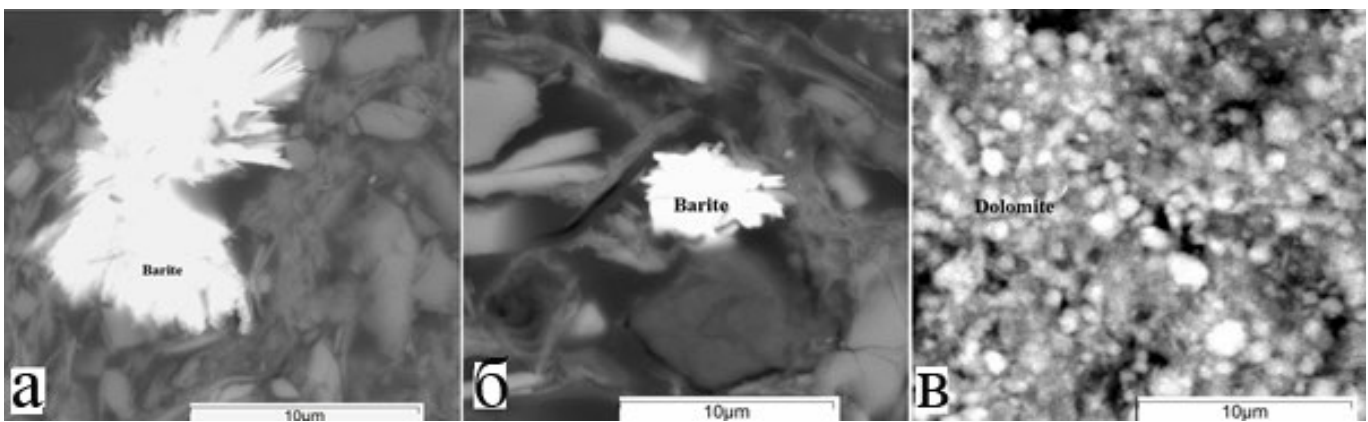


Рис.4. Изображения СЭМ: а - радиально-лучистое выделение барита в донных отложениях оз. Малое Тархатинское в нивальном седиментогенезе; б – радиально-лучистое выделение барита в донных отложениях оз. Песчаное в гумидном седиментогенезе; в – творожистые агрегаты доломита в донных отложениях оз. Танатарб в аридном седиментогенезе.

4. Заключение

Переменчивость природных факторов (длительное наличие ледяного покрова на воде, препятствующего обводнению и приносу терригенного материала, бескислородная ситуация в остаточных водах с локальными зонами газового пересыщения, обусловленная трансформацией органического вещества) обеспечивает возможность кристаллизация аутигенных минералов в пресных водах озер, расположенных в условиях нивального, гумидного и аридного седиментогенеза, и определяет форму кристаллических агрегатов новообразованных фаз. При этом последовательность осаждения солей – от карбонатов до хлорида натрия – определяется не столько значениями pH–Eh, сколько ионным составом замерзающей воды и микробиологическим составом.

Благодарности

Исследование проведено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00111, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00111/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Лисицын А.П. 2010. Новый тип седиментогенеза в Арктике - ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов. *Геология и геофизика*. 51 (1): 18–60.
- Страхов Н.М. 1954. Общая схема седиментации в современных морях и озерах малой минерализации. Образование осадков в современных водах. Москва: Изд-во Академии наук СССР.