

УДК 552.5:552.08(571.12)

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ДОННОГО САПРОПЕЛЕВОГО ОСАДКА ОЗЕРА ГРЯЗНОЕ (ЮГ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

<sup>1</sup>Новоселов А.А., <sup>2</sup>Малых А.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: Mr.andreygeo@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень

В работе представлены результаты изучения минерального состава донных отложений пресноводных подтаежных водоемов юга Тюменской области, на примере оз. Грязного, входящего в крупную Андреевскую озерную систему. Принято считать, что процессы вторичного минералообразования значительно лучше выражены в минерализованных водоемах в аридных и семиаридных условиях, в то время как для бореальных и субнормальных водоемов характерно накопление органогенных сапропелевых осадков при подчиненной роли аутигенного минералогенеза. В то же время для пресноводных водоемов подтаежной зоны Западной Сибири проявления аутигенного минералообразования могут рассматриваться в качестве важного индикатора современного и голоценового озерного литогенеза, а также влияния деятельности человека на режим функционирования таких объектов. Настоящее исследование основывается на изучении двух колонок донного осадка, отобранных из центральной части оз. Грязного. Исследования высушенных проб включали в себя рентгеноструктурный анализ и изучение минерального состава при помощи сканирующего электронного микроскопа. Полученные результаты позволили подтвердить наличие процессов аутигенного минералообразования в донных отложениях, проявляющегося в формировании таких минералов, как пирит, гипс и вивианит, предположить значительное влияние бактерий на развитие системы вода – донные отложения, а также выявить степень влияния антропогенного воздействия на функционирование процессов сноса в водоеме и геохимический баланс системы. Так же восстановительные условия придонных слоев водоема, на которые указывают обнаруженные в ходе исследований аутигенные минералы, и периодический замор рыб, происходящий в зимний период, создают условия для накопления значительного количества высокоорганических сапропелевых отложений.

**Ключевые слова:** донные отложения, Андреевские озера, аутигенное минералообразование, фрамбоидальный пирит, система вода – донные отложения

## FEATURES OF THE MINERAL COMPOSITION OF THE BOTTOM SAPROPELINE SEDIMENT OF THE LAKE GRYAZNOE (SOUTH OF THE TYUMEN REGION)

<sup>1</sup>Novoselov A.A., <sup>2</sup>Malykh A.G.

<sup>1</sup>Tyumen State University, Tyumen, e-mail: Mr.andreygeo@mail.ru;

<sup>2</sup>Tyumen Industrial University, Tyumen

The paper presents the results of a study of the mineral composition of bottom sediments of freshwater subtaiga water bodies in the south of the Tyumen region, on the example of lake Gryaznoe, which is part of the large system of lake Andreevskoe. It is considered that the processes of secondary mineral formation are much better expressed in mineralized water bodies in arid and semiarid conditions, while boreal and subnormal reservoirs are characterized by accumulation of organogenic sapropelic sediments with the subordinate role of authigenic mineralogenesis. At the same time, for freshwater bodies of the subtaiga zone of Western Siberia, manifestations of authigenic mineral formation can be considered as an important indicator of modern and Holocene lake lithogenesis, as well as the impact of human activity on the functioning of such objects. This research is based on the study of two columns of bottom sediment, selected from the central part of the lake Gryaznoe. analysis of dried samples included X-ray diffraction analysis and the study of the mineral composition using a scanning electron microscope. The obtained results allowed us to confirm the presence of authigenic mineral formation processes in bottom sediments, manifested in the formation of such minerals as pyrite, gypsum and vivianite, suggest a significant effect of bacteria on the development of water-bottom sediments, as well as identify the degree of anthropogenic influence on the functioning of the processes of demolition in the reservoir and the geochemical balance of the system. Also, the reducing conditions of the bottom layers of the reservoir, indicated by authigenic minerals found in the course of research, and the periodic freezing of fish occurring in the winter period, create conditions for the accumulation of significant amounts of highly organic sapropel deposits.

**Keywords:** bottom sediments, lake Andreevskoe, authigenic mineral formation, framboid pyrite, water-bottom sediments system

Процессы современного вторичного минералообразования в донных отложениях являются одним из наиболее актуальных направлений исследований континентальных водоемов. Одним из факторов, ослож-

няющих изучение минералообразования в аквальных условиях, является динамичность системы вода – донные отложения. Наибольший интерес представляют минерализованные водоемы, так как в них про-

цессы минералогенеза более выражены. В то же время в пресноводных озерах бореальной и суббореальной зон Западной Сибири, котловины которых расположена на бедных с точки зрения минерального разнообразия литогенной основы территориях, биогенные процессы преобладают над хемогенными, а донные отложения представлены преимущественно сапропелевыми осадками, смешанными с терригенным материалом, привнесенным с площади сноса. Аутигенные процессы в таких озерах выражены слабо, из-за низкой концентрации растворенного в воде минерального веще-

ства и, соответственно, значительно реже становятся объектом исследований.

В работе представлены результаты исследования минеральных компонентов сапропелевых донных отложений небольших подтаежных водоемов, на примере оз. Грязного Андреевской озера системы (юг Тюменской области) (рис. 1). Главной целью настоящего исследования было изучение проявлений вторичного минералообразования в условиях пресноводного бессточного озера, а также попытка объяснения выраженности и интенсивности протекания данных процессов.

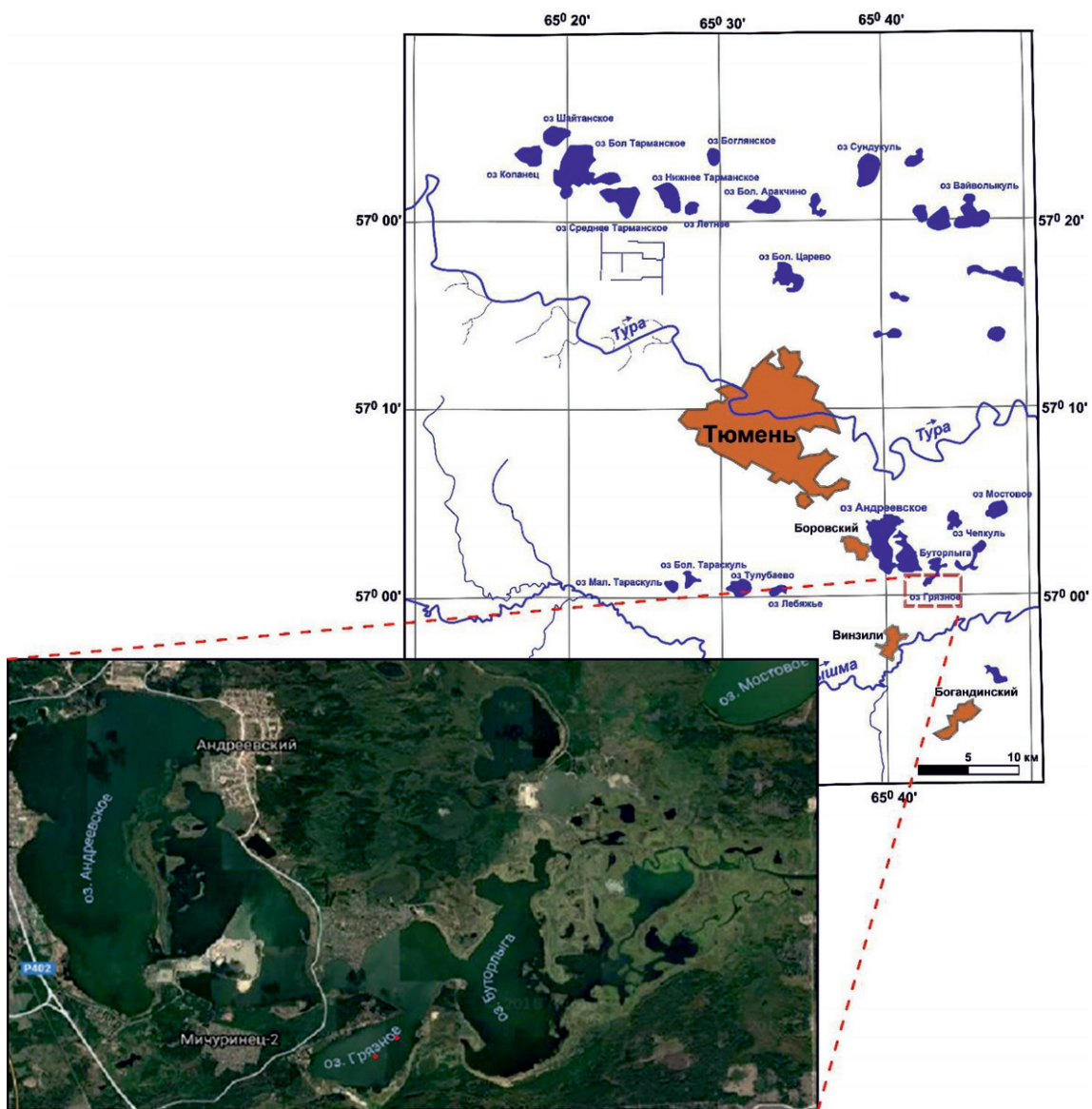


Рис. 1. Гидрографическая схема расположения озер Андреевской системы. На космоснимке точками обозначены места отбора проб

### Материалы и методы исследования

Для изучения процессов аутигенного минералообразования в донных отложениях подтаежных водоемов юго-запада Западной Сибири было выбрано озеро Грязное, являющееся одним из крупнейших в сети Андреевских, имеющее площадь более 1,53 км<sup>2</sup>. Озеро расположено в пределах Тура-Пышминского междуречья в подтаежной зоне Западно-Сибирской равнины. Котловины озер Андреевской системы приурочены к пойменным отложениям, верхние слои которых частично преобразованы эоловыми процессами и местами формирует дюнный рельеф, так называемые «баровые пески». Аллювиально-эллювиальные пески, имеющие мощность 1–3 м, подстилаются переслаивающейся толщей глин и обогащаются карбонатным материалом, суглинков, мощностью до 5 м. Существует несколько противоположных взглядов на генезис котловин рассматриваемых водоемов: суффозионно-эрозионные депрессии, днище древней ложбины стока.

В зимний полевой период 2018 г. из двух точек озера, располагающихся в центральной части озера, были отобраны колонки донных отложений. Пробы отбирались поршневым пробоотборником Бикера. Общая глубина отбора составляла 120 см, которые, для дальнейшего подробного изучения, после визуального описания, были разделены на 3 интервала (нижний, средний и верхний). Пробы были высушены при температуре 60 °С. Высушенный материал был изучен под сканирующим электронным микроскопом ТМ3000 «Hitachi» (Япония) с приставкой для элементного анализа поверхности Quantax 70. Также было проведено полуколичественное определение минерального состава рентгеноструктурным методом в ООО «Западно-Сибирский геологический центр» (г. Тюмень) на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.

### Результаты исследования и их обсуждение

По данным рентгеноструктурного анализа выявлена заметная неоднородность

в минеральном составе зольной части донных отложений. В верхнем интервале отбора наблюдается преобладание терригенной составляющей, представленной кварцем и полевыми шпатами (в сумме более 90%), в то время как доля карбонатного материала составляет только 7,5%, что говорит о низкой интенсивности процессов образования аутигенных карбонатных минералов и преобладании привнесенного обломочного материала в формировании современных отложений. Интенсивная антропогенная деятельность, на берегу озера, представленная возведением и эксплуатацией дачных участков, с периодической активизацией строительной деятельности и постоянным движением транспорта, интенсифицирует эрозионные процессы, увеличивая долю терригенного материала, привносимого площадным смывом с водосбора озера. На границе 30–35 см происходит резкое увеличение содержания карбонатного вещества в составе минеральной фазы донных отложений; в среднем и нижнем интервалах содержание кальцита достигает 70,8% и 62,2% соответственно (таблица). Такой резкий скачок содержания карбонатного материала, как правило, говорит о значительных изменениях в режиме функционирования. Резкое повышение содержания биогенного и аутигенного кальцита, так же как и резкое сокращение, говорит о стремительном изменении климата, температурных условий или водного режима бассейна сноса.

#### *Терригенные минералы*

В составе донных отложений оз. Грязного обнаружено незначительное количество привнесенных терригенных обломков, которые представлены редкими, со слабыми, невнятными следами растворения, зернами кварца и единичными вытянутыми зернами полевых шпатов, также с незначительными следами растворения, а также плохо диагностируемыми глинистыми минералами. Основную же массу донных отложений составляет разнообразный органический материал в виде мелкодисперсных илов.

Минеральный состав донных отложений по данным рентгеноструктурного анализа

№ п/п	Шифр образца	Кварц	КПШ	NaПШ	Гидрослюда	Хлорит	Доломит	ССО	Пирит	Кальцит
28	Ан-2	82,3	1,6	6,3	0,0	0,9	0,0	0,0	1,4	7,5
29	Ан-3	30,9	0,9	3,7	0,0	0,8	0,0	0,0	1,5	62,2
30	Ан-4	20,4	1,4	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	70,8

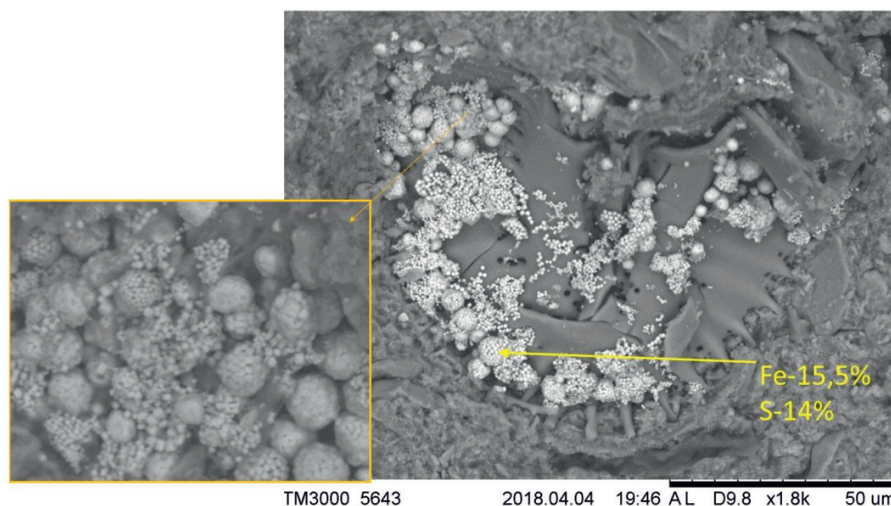


Рис. 2. Фрамбоидальный пирит, развивающийся по остаткам современной диатомовой водоросли

#### Аутигенные минералы

В донных отложениях, на всей изученной глубине, выявлены проявления аутигенного минералообразования. Интенсивность постседиментационного преобразования минеральных веществ, несмотря на бедность, с точки зрения минерального разнообразия, литогенной основы, довольно высокая.

По всему объему изучаемых интервалов донных отложений наблюдаются выделения аутигенного пирита. Минерал встречается в различных формах и равномерно распределен по объему проб (рис. 2; рис. 4, б). Преобладающей формой выделения аутигенного пирита являются фрамбоэдры.

Такие формы пирита зачастую образуются в ходе разложения органического материала вследствие бактериальной сульфатредукции [1]. В некоторых случаях, мельчайшие микросферические агрегаты рассматриваются как пиритизированные бактериальные тельца [2]. Одним из доказательств бактериального генезиса фрамбоидального пирита, можно считать, описанные находки такого рода агрегатов в живых альгобактериальных матах гидротермальных источников острова Кунашир. Как известно, для формирования пирита в донных отложениях благоприятствует восстановительная обстановка в придонных слоях воды, наличие минералов железа и обилие органики, которое позволяет развиваться бактериям, восстанавливающим сульфаты из воды и выделяющим сероводород [3].

Также, в верхней части исследуемого интервала был обнаружен аутигенный водный фосфат железа (рис. 3). В пробах аутигенный

вивианит представлен уплощенными вытянутыми микрокристаллами, как правило сгруппированными в слабодисперсионные сноповидные агрегаты. Так же как и пирит, этот минерал указывает на процессы анаэробной деструкции органического вещества с сопутным восстановлением железа. Результаты современных исследований, как натуральных, так и лабораторных, показывают, что формирование аутигенного вивианита является следствием жизнедеятельности бактерий, что неоднократно доказано лабораторными методами. В модельных опытах минералы типа вивианита и сидерита образовывались в результате жизнедеятельности водородной бактерии, идентифицированной как *Pseudomonas* sp., при восстановлении ферригидрата [4].

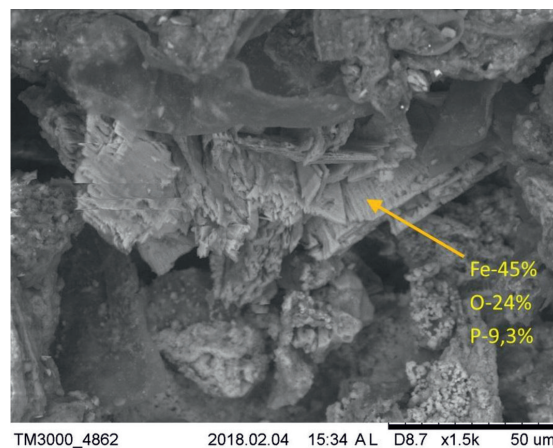


Рис. 3. Микроагрегаты вивианита, обнаруженные в верхней части изучаемой толщи донных отложений оз. Грязного

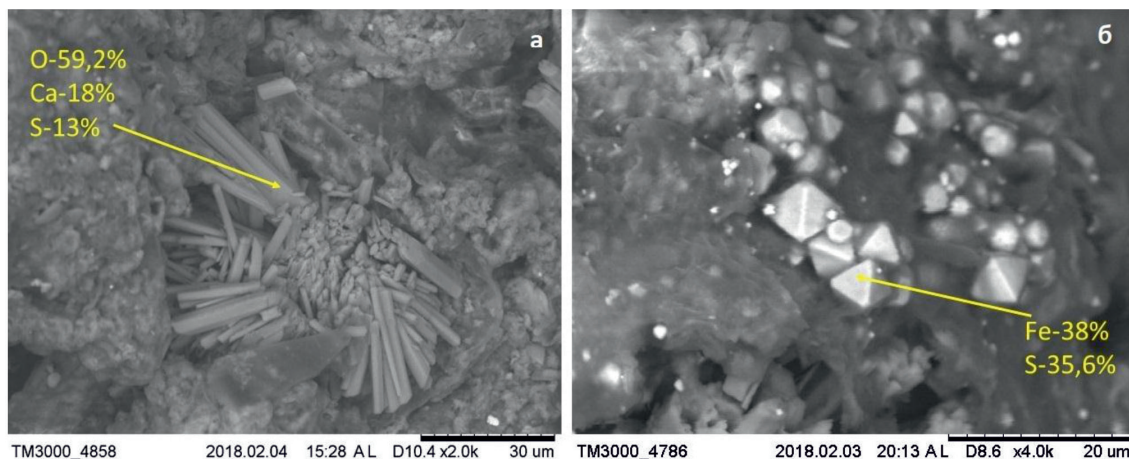


Рис. 4. а) радиальнолучистые шестоватые микроагрегаты аутигенного гипса; б) микрокристаллы пирита в виде пентагондодокаэдров и комбинации пентагондодокаэдра и октаэдра

Еще одним аутигенным минералом, обнаруженным в донных отложениях, является гипс, который представлен небольшими радиальнолучистыми игольчатыми микроагрегатами, относительно равномерно распределёнными в объёме проб (рис. 4, а). Образование этого минерала встречаются во всех изученных интервалах, но составляют незначительный процент от общей массы субстрата, из-за чего его наличие не отражено в данных рентгеноструктурного анализа. Как известно, для осаждения гипса в воде необходимо содержание, в определенных концентрациях, растворенных сульфатов, кальция и сероводорода. Несмотря на то, что в основном гидраты сульфата кальция образуются в водоемах с соленой водой, необходимые для его минерализации компоненты могут также быть обусловлены обилием органического материала. Так основной компонент – сероводород образуется в дезоксигенированных участках озер, как правило, после значительного понижения содержания кислорода в результате разложения биологического материала.

#### Выводы

Так же как и большая часть озер Андреевской системы, оз. Грязное характеризуется малыми глубинами (до 2 м) и обилием органики, представленной рыбами (окунь, карась, ротан, чебак, лещ), беспозвоночными (рак, улитка-прудовик) и многочисленными видами растений (роголистник, ряска и т.д.). Периодически происходящие заморы, а также эвтрофикация водоемов вследствие антропогенной деятельности приводят к аккумуляции слаборазложившегося

органического вещества и формированию восстановительной обстановки.

В ходе поинтервального изучения отобранных колонок донных отложений была выявлена четкая граница, с резким увеличением содержания карбонатного материала в осадке. Такой резкий скачок, скорее всего, обусловлен климатической обстановкой в эпоху голоцена на территории юга Тюменской области [5]. Как известно, при аридизации климата и, соответственно, росте концентраций солей в водах континентальных водоемов возрастает интенсивность выпадения солей угольной кислоты, при достаточном количестве соединений углерода в растворенной форме. Однако настолько резкое снижение содержания кальцита в осадке в верхнем интервале, вероятно, связано не только с гумидизацией климата, но и со значительным увеличением антропогенного воздействия на водосборный бассейн озера.

Несмотря на низкую минерализацию озерной воды, в донных отложениях были обнаружены некоторые аутигенные минералы. Активное вторичное образование таких минералов, как гипс, пирит и вивианит, говорит о наличии резких условий в придонных слоях воды, в которых происходит активная деятельность сульфатредуцирующих бактериальных сообществ. Так же образование подобных соединений указывает на присутствие в водах достаточного количества растворенных соединений железа, основным источником которых предположительно является антропогенное воздействие, а именно активное функционирование нескольких дачных кооперативов на берегу озера.

**Список литературы / References**

1. Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гефтнер А.Р., Жегалло Е.А., Жмур С.И., Карпов Г.А., Орлеанский В.К., Пonomаренко А.Г., Розанов А.Ю., Сумина Е.Л., Ушатинская Г.Т., Хувер Р., Школьник Э.Л. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Науч. ред. Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. М.: ПИН РАН, 2011. 172 с.  
Astaf'yeva M.M., Gerasimenko L.M., Geptner A.R., Zhegallo Ye.A., Zhmur S.I., Karpov G.A., Orleanskiy V.K., Ponomarenko A.G., Rozanov A.YU., Sumina Ye.L., Ushatinskaya G.T., Khuver R., Shkol'nik E.L. Fossil bacteria and other microorganisms in terrestrial rocks and astromaterials / Nauch. ed. Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. M.: PIN RAN, 2011. 172 p. (in Russian).
2. Sorokin D.Y., Berben T., Melton E.D., Overmars L., Vavourakis C.D., Muyzer G. Microbial diversity and biogeochemical cycling in soda lakes. *Extremophiles*. 2014. V. 18. P. 791–809. DOI: 10.1007/s00792-014-0670-9.
3. Berner R.A. Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. V. 48. Iss. 4. P. 605–615.
4. Soliman M.F., Goresy A.E. Framboidal and idiomorphic pyrite in the upper Maastrichtian sedimentary rocks at Gabal Oweina, Nile Valley, Egypt: Formation processes, oxidation products and genetic implications to the origin of framboidal pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012. V. 90. P. 195–220. DOI: 10.1016/j.gca.2012.05.004.
5. Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans. *Quaternary Science Reviews*. 2012. V. 48. P. 32–42. DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.06.002.