

## ОТЗЫВ

Официального оппонента

на диссертацию Малова Виктора Игоревича

на тему «Геохимия и минералогия компонентов системы Онежского озера»

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

1. **Актуальность темы** диссертации обуславливается изучением минералого-геохимических характеристик донных отложений озерных экосистем. В настоящее время это направление в науке будет очень востребовано, так как озерные осадки являются архивом геологической истории развития прилегающих территорий в региональном масштабе, а также индикаторами изменения климата и антропогенной нагрузки. Также детальное изучение факторов, влияющих на формирование озерных экосистем и понимание механизмов потоков вещества и энергии посредством изучения осадочного вещества, обеспечит формирование детальной модели процессов озерного осадконакопления.

### 2. **Цель и задачи.**

Цель работы - комплексная оценка характеристик процесса современного литогенеза Онежского озера на основе геохимических и минералогических исследований.

Достижение цели поставлены и решены следующих задачи:

- определён вещественный состав осадочного вещества в воде и донных отложениях системы Онежского озера;

- определён уровень содержания и характер латерального и вертикального распределения макро- и микроэлементов в донных отложениях Онежского озера;

- определён уровень содержания и характер латерального распределения макро- и микроэлементов в осадочном веществе в воде Онежского озера;

- оценены скорости осадконакопления в разных районах акватории Онежского озера, на базе метода радиометрического датирования с использованием неравновесного  $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$  в сопоставлении с распределением радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках по реперным точкам;

- выявлены закономерности распределения потенциально токсичных элементов (на примере ртути) в системе вода-взвешенное вещество-донные отложения.

3. **Научная новизна работы** заключается в исследовательских подходах, основанных на изучение осадочного материала на различных этапах седиментогенеза, а также выявлении факторов, отвечающих за состав минеральных ассоциаций донных отложений и изменении вещественного состава в процессе осаднения. Указано, что важную роль в распределении химических элементов в голоценовых отложениях играют процессы диагенеза. И, более того, впервые получены данные по минеральному и

геохимическому составу всего разреза четвертичных отложений, слагающих котловину Онежского озера.

*Замечание:* Граница начала четвертичного периода составляет 2.58 млн лет. В работе на стр. 22 указано, что «Во время последнего (валдайского) оледенения озеро и водосбор находились в юго-восточном (краевом) фланге ледника и были заняты Онежским ледовым потоком Беломорского ледового комплекса (Zobkov et al., 2019). Поэтому толща четвертичных отложений на водосборе сравнительно небольшая...»; на стр. 40. – «Древнейшими из вскрытых бурением со льда отложений являются отложения позднего валдая». На рис. 4.1 самый древний возраст приледниковых отложений составляет ~14500-14000 лет. Нигде в диссертации нет данных, является ли этот разрез осадков Онежского озера, обсуждающегося в главе 4, полным или это всего лишь его фрагмент. Также хотелось бы знать какова численная характеристика «небольшой» мощности осадков озера. Информация о породах фундамента, на которых залегают осадочные породы озера, а также характеристика их границы отсутствует. Судя из текста диссертации, максимальная длина керна составляла 11 метров (стр. 32). Это подвергает сомнению тезис о том, что изучен весь разрез четвертичных отложений.

4. **Практическая значимость** диссертационной работы состоит в применении метода радиометрического датирования с использованием неравновесного  $^{210}\text{Pb}$  в сочетании с распределением радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках в независимости от его диагенетического преобразования, а также в использовании вивианита ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$ ) в осадках Онежского озера, являющегося основным «контейнером» фосфора, для будущих работ по моделированию эвтрофикации.

*Замечание.* Вряд ли только на основании использования вивианита можно строить модели эвтрофикации без знания данных о растворенном кислороде, биопродуктивности и т.д. Данный показатель может быть использован как дополнительный для суждения об эвтрофикации, но ни как не основной.

5. **Достоверность результатов работы** обеспечена тем, что для проведения аналитических исследований использовался большой объем отобранного материала: (2 керна донных отложений длиной до 10 м; 93 колонки донных отложений длиной до 3 м (в сумме 836 проб донных отложений); 24 седиментационных ловушки (которые включали осадочный материал (24 пробы), воду (24 пробы) и фильтры (24 пробы)), 36 проб воды Онежского озера и взвеси из нее (36 проб)). Исследования выполнены на передовом аналитическом оборудовании Центра коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН и в ИВПС КарНЦ РАН высококвалифицированными аналитиками.

6. **Личный вклад автора.** Автором принято непосредственное участие в экспедиционных работах, которые включали отбор проб донных отложений и воды, установку и снятие седиментационных ловушек, проведение первичной пробоподготовки на борту. Автором проведена дальнейшая пробоподготовка для аналитических методов исследования. Автор самостоятельно изучал материалы на сканирующем электронном микроскопе. Автор принимал активное участие в обработке полученных аналитических данных, интерпретации и сопоставления новых данных с литературными материалами, подготовке и публикации результатов в научных журналах.

## **7. Оценка содержания диссертации, её завершенность, в целом, замечания по оформлению.**

Текст работы представлен на 120 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения и библиографического списка, включающего 149 наименований. Работа, кроме текста, включает в себя 8 таблиц, 63 рисунка. В целом, текст диссертации обладает внутренним единством, а сама диссертационная работа представляет собой завершенный научный труд.

Во введении обоснованы актуальность темы исследований, ее научная новизна, обозначены объем проделанной работы, личный вклад автора и сведения об апробации работы. Изложены 3 защищаемых положения, которые сформулированы в целом корректно и отвечают содержанию и результатам проделанной работы.

Глава 1 «Озерная система Онежского озера» написана на основе литературных данных где изложена информация об озерной системе озера как объекта исследования, данные о литогенезе Онежского озера, а также история изучения донных отложений Онежского озера. В этой главе приведены общие сведения об озере, биотических компонентах экосистемы озера, гидрохимии воды, источниках и путях поставки осадочного вещества. Рассмотрены вопросы закономерности современного осадкообразования и роли диагенеза, где автор придерживается представлений высказанных по этой теме Н.В. Логвиненко.

*Замечание.* Для высокоширотных областей Мирового океана большую роль в седиментогенезе играет ледовый разнос. По мнению А.П. Лисицына (1994), к примеру, в Охотском море такая миграция осадочного вещества на дно играет значимую роль. Вопросы о влиянии ледового разноса на седиментогенез Онежского озера диссертантом не затронуты. Из материала, представленного в главе, рассматривающего историю изучения объекта, должна вытекать необходимость проведения запланированных работ для обоснования нерешенных вопросов. К сожалению, в главе 1 не отображено, почему вопросы, обсуждаемые в диссертации, не были решены ранее.

Глава 2 «Объект исследования» излагает физико-географическую характеристику Онежского озера и его водосбора, геологическое строение территории водосбора. В этой части работы диссертант изложил географические количественные характеристики Онежского озера, площади водосбора. Представлены данные о рельефе и показано влияние ледника на его формирование. В геологическом строении водосборной территории и самого Онежского озера выделяется три комплекса пород.

*Замечание.* Что автор относит к геологическому строению Онежского озера? Весь тот комплекс пород слагающих водосборную зону или же осадочные породы самого озера?

В главе 3 «Полевые и аналитические методы исследования» представлены данные о полевых методах исследования, отборе фактического материала и аналитических методах исследования. Этот раздел работы хорошо иллюстрирован, где наглядно показаны пробоотборники. Представлена карта отбора фактического материала. Описан алгоритм отбора проб воды и донных осадков, а также взвешенного вещества. Представлена

информация об аналитической базе и пределах обнаружения отдельных методов определения минерального и химического состава аналитов.

Глава 4 «Геохимический и минеральный состав донных отложений Онежского озера» посвящена сопоставлению минералого-геохимических особенностей отложений приледнекового и голоценового этапа седиментогенеза, а также решению вопроса о латеральном и вертикальном различии минерального и химического состава осадков. Рассмотрен вопрос об использовании геохимических индикаторов. Глава хорошо иллюстрирована, табличные данные химического состава представлены в графическом виде, что облегчает их интерпретацию. В конце главы приведены выводы, из которых следует, что наблюдается вариация в обогащении отдельными элементами различных частей озера; состав терригенной составляющей представлен в основном кварцем, полевым шпатом и мусковитом, а состав минералов в разных районах озера различается из-за локальных геологических особенностей; голоценовые отложения характеризуются более высокими концентрациями Mn, Fe, Hg, P, Mo и Cd по отношению к приледниковым, что связано с гумидизацией климата в голоцене и процессами окислительно-восстановительного диагенеза; для окисленных обстановок характерны: пиролюзит, бёрнессит, гетит, а для восстановленных вивианит, родохрозит и сидерит.

*Замечания.* Диссертанту стоит обратить внимание на точность используемых терминов. Песок не может быть крупным, он крупнозернистый. На стр. 38 и 39 указано, что голоценовые отложения залегают на третьей пачке с угловым несогласием, а на стр. 43, цитирую, «Лимногляциальные отложения постепенно переходят в современные озерные отложения...», т.е. несогласие отсутствует. Диссертанту необходимо пояснить был ли перерыв в осадконакоплении или нет. Пиролюзит является маркером насыщенности вод кислородом, а родохрозит формируется в условиях его дефицита. Чередование такой минеральной ассоциации является отражением сезонного осадконакопления осадочного вещества или они отражают более глобальные циклы? Остаётся не раскрытым вопрос о генезисе пиролюзитовых микроконкреций (рис 4.16). Их формирование осуществлялось на поверхности осадка в условиях активной вентиляции придонных вод или же в осадке? Кроме того, диссертантом был определён тодорокит, являющейся  $10\text{\AA}$  марганцевой фазой. При диагенетическом марганцевом минералообразовании к  $10\text{\AA}$  марганцевой фазе относится ряд минералов, таких как асболан, асболан-бузерит, бузерит 1 и др (Чухров и др., 1989), достоверная диагностика которых возможна только с помощью метода микродифракции электронов. Трудно представить совместное присутствие минералов, отражающих высокоокисленные обстановки (пиролюзит) и субокисленные обстановки ( $10\text{\AA}$  марганцевая фаза). Интересно высказывание диссертанта относительно более высоких концентраций марганца по сравнению с современными илами океанов, ссылаясь на А.А. Ярошевского (2004). Что диссертант понимает под термином «современные илы океанов»? По данным Е.Г. Гурвич (1998) содержание марганца в глубоководных глинах (металлоносные осадки) в среднем для юго-восточной части Тихого океана составляет 5.07%, а фоновые, конечно, значительно ниже – 0.75%. Автор делает вывод, что «использование определенных геохимических индикаторов для определения окислительно-восстановительных условий невозможно для донных отложений акватории Онежского озера», но при этом не представляет возможные пути решения этой проблемы. Рисунок 4.32 демонстрирует

вертикальное распределение элементов в колонках двух типов стратификации донных отложений. Что это за типы, остается только догадываться.

Глава 5 «Осадочное вещество Онежского озера» демонстрирует данные об осадочном веществе, поставляемом в озеро реками, а также о минералого-геохимических характеристиках взвешенного вещества и скоростях осадконакопления с привлечением статистических методов. На основании изложенного материала делаются выводы: 1) о составе осадочного вещества; 2) часть слоистых силикатов формируется непосредственно в донных отложениях и имеет аутигенный генезис; 3) о гомогенизации осадка на всей акватории Онежского озера; и 4) приводятся рассчитанные скорости осадконакопления, которые изменяются от 0.03 до 0.11 см/год в зависимости от района.

*Замечание.* Средняя продолжительность ледяного покрова Онежского озера  $172 \pm 20$  дня (Баклагин и др., 2020). Модель автора базируется на допущении, что атмосферное поступление  $^{210}\text{Pb}$  в донные отложения постоянно, хотя половину года озеро покрыто льдом. Нет данных о корреляции скорости осадконакопления рассчитанной с использованием данных седиментационных ловушек и путем оценки активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в разрезах керна донных отложений.

Глава 6 «Ртуть в системе Онежского моря» повествует о распределении ртути в системе вода – взвешенное вещество, а также в донных отложениях. Общее содержание ртути в воде Онежского озера в среднем составляет  $0.32 \pm 0.07$  мкг/л с максимальными значениями до 0.852 мкг/л (Южное Онего), при ПДК 0.5 мкг/л. Преобладающей формой нахождения ртути является растворенная+коллоидная, за исключением районов где наблюдается повышенная антропогенная деятельность. Увеличение содержания ртути в донных отложениях вверх по разрезу связывается с антропогенным загрязнением и миграцией Hg, и ее переотложением на геохимическом барьере совместно с Fe и Mn.

*Замечание.* Автор утверждает что «Увеличение поступления ртути из атмосферы связано с глобальным увеличением поступления ртути в окружающую среду, вызванное индустриальной деятельностью человека». Современные исследования природной эмиссии ртути в гидросферу показали, что её количество напрямую зависит от глобальных климатических изменений (Krabbenhoft, Sunderland, 2013). Эмиссия ртути в атмосферу (Sonke, Heimbürger, 2012) связана с процессами таяния зон вечной мерзлоты и высвобождения ртути, содержащейся в почве, которая является основным ее концентратом (Selin, 2009). Связано повышение количества ртути в голоценовых осадках с антропогенной нагрузкой или таянием зон вечной мерзлоты в диссертации не рассматривается.

**8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.** Автореферат соответствует тексту диссертации, в нем приводятся основные результаты, обосновывающие защищаемые положения.

**9. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.**

Полученные результаты были опубликованы в: 1 монографии, 4 статьях, которые вошли в международные реферативные базы данных ВАК, Web of Science и Scopus, 9 материалов конференций. Кроме того, результаты исследований были представлены устными и стендовыми докладами на 6 международных и всероссийских конференциях.

10. **Тема диссертации соответствует научной специальности.**

11. **Заключение**

Несмотря на высказанные замечания, выполненная работа представляет законченное научное исследование, использующее современные методы изучения компонентов системы Онежского моря и содержащее оригинальный и новый научный материал.

Диссертационная работа написана хорошим языком, иллюстрации и таблицы уместны, четко выполнены и помогают разобраться в тексте. Описки и опечатки редки. Автором выполнена большая работа, имеющая как научную, так и практическую значимость. Результаты исследования прошли апробацию и докладывались на российских и международных совещаниях. Работа является полезной для научных сотрудников, аспирантов и студентов геологических и химических специальностей. Высказанные замечания не снижают научную значимость проделанной работы, а также достоверность полученных результатов. Диссертационная работа Малова Виктора Игоревича содержит в себе научно-обоснованные защищаемые положения, соответствующие специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

**Малов Виктор Игоревич заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых**

Михайлик Павел Евгеньевич

Кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Старший научный сотрудник, лаборатории Региональной геологии и тектоники, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022, Приморский край, г. Владивосток, Пр-т 100-летия Владивостока, 159, сайт ДВГИ ДВО РАН: [www.fegi.ru](http://www.fegi.ru), e-mail: [mikhailik@fegi.ru](mailto:mikhailik@fegi.ru), тел: +7-914-705-86-83

Я Михайлик Павел Евгеньевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«27» декабря 2024 г.

П.Е. Михайлик

