

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

на диссертацию Мальцева Антона Евгеньевича «Геохимия голоценовых разрезов сапропелей малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертация А.Е. Мальцева посвящена актуальной в настоящее время проблеме, которая имеет как фундаментальное, так и, несомненно, важное прикладное значение – комплексному изучению геохимии голоценовых разрезов озерных сапропелей, полученных путем вибрационного бурения дна озер до подстилающих пород. Исследование А.Е. Мальцева охватывает оба направления и является весомым вкладом в развитие **теории** биогеохимических процессов постседиментационного преобразования органического и минерального вещества озерных сапропелей. Установленная геохимическая специализация сапропелевых отложений, формирующихся в озерах разных природно-ландшафтных обстановках Западной и Восточной Сибири, раскрывает возможности их **практического** использования в сельском хозяйстве и различных отраслях промышленности изучаемых регионов.

Объектами исследования диссертантом выбраны типовые малые озера юга Западной Сибири (Минзелинское, Большие Тороки, Иткуль) и Восточного Прибайкалья (Очки, Духовое, Котокель). Предметом исследования – керны сапропелевых отложений с ненарушенной стратификацией: Иткуль (1,6 м), Большие Тороки (1,8 м), Минзелинское (5 м), Очки (4,5 м), Духовое (7 м), Котокель (14 м).

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Диссертация включает 199 страниц, 32 таблицы и 72 рисунка. Список литературы насчитывает 304 наименования, из которых 55 на иностранных языках.

Во **Введении** диссертант детально обосновывает актуальность выбранной темы исследования, формулирует цель и задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели. Здесь же названы изученные объекты, приведены сведения об объеме проделанной полевой и аналитической работы, сформулированы основные защищаемые положения, научная новизна и личный вклад соискателя. Указаны аспекты работы, имеющие практическую значимость, обоснована достоверность полученных результатов и приведены сведения, подтверждающие апробацию работы.

**Глава 1 «Современное состояние геохимической изученности сапропелевых отложений малых озер России и Сибирского региона»** содержит обзор литературных данных. Здесь дается определение понятия



«сапрпель», история изучения озерных сапрпелей и первые их классификации, обзор современных классификационных систем сапрпелей и современное состояние изученности геохимии сапрпелевых отложений малых озер в сибирском регионе, а также анализ работ по пресноводному восстановительному диагенезу сапрпелевых отложений.

**Глава 2 «Методы исследования»** содержит сведения о методах отбора озерных и поровых вод, биопродуцентов (макрофиты, планктон), донных осадков в экспедициях, причем особый акцент делается на методе вибрационного бурения сапрпелевых отложений, позволяющего получать длинные керны с ненарушенной стратификацией. Дается пояснение, что на примере именно длинных кернов озерных осадков становится возможным в полной мере решать такие непростые задачи, как выявление генезиса захороненного (фоссилизированного) органического вещества за весь исторический период формирования сапрпелевых толщ, а также выявлять закономерности преобразования органического и минерального вещества сапрпеля и трансформацию поровых вод в раннем диагенезе. Дается описание комплекса используемых в работе аналитических методов, имеющих как в Институте геологии и минералогии СО РАН, так и в сторонних организациях Сибирского и Дальневосточного отделений РАН. Обосновывается достоверность защищаемых положений, которая обеспечена статистически значимым количеством проб донных осадков, озерных и поровых вод, биопродуцентов, современной методикой их отбора и пробоподготовки, анализа с применением комплекса высокочувствительных аналитических методов, использованием современного программного обеспечения.

**Глава 3 «Объекты исследования»** включает сведения о физико-географической и геолого-геоморфологической характеристике территории расположения изучаемых озер. Приведены данные по химическому составу горных пород и почв водосборов, озерных вод, а также морфометрические параметры озер. Диссертант обосновывает предположение, что зональные особенности гидрохимического состояния малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья в зависимости от ландшафтных и внутриводоемных (лимнических) условий выражаются в величине минерализации и химизме озерных вод.

**Глава 4 «Биогеохимические особенности органического вещества сапрпелей макрофитного и планктонного генезиса»** посвящена геохимии органического вещества сапрпелевых отложений исследуемых озер в сравнении с минеральными отложениями (мергелистые глины) оз. Иткуль. Здесь рассматриваются современные источники поставки органического вещества на основе выделения в современных озерных биоценозах биопродуцентов с максимальной первичной продукцией. Источники поступления и генезис захороненного (фоссилизированного) органического вещества устанавливаются на основе комплексного



биологического анализа – послойного определения в седиментационных разрезах сохранившихся остатков организмов (биостратификация). Детально представлена литостратиграфия, вещественный состав, распределение органического вещества,  $C_{орг}$ , основных биогенных элементов (C, H, N, S) в вертикальных разрезах озерных отложений. Приведены данные радиоуглеродного датирования возрастов голоценовых разрезов озерных отложений, на основе чего определены скорости осадконакопления в разных слоях стратифицированных разрезов отложений исследованных озер.

По данным пиролиза установлено, что уже в самых верхних интервалах сапропелевых осадков органическое вещество подвержено глубоким процессам трансформации и существенно отличается по составу от продуцентов органического вещества – макрофитов и планктона. Сравнительный анализ пирограмм биопродуцентов и сапропеля показывает, что в составе сапропеля уже в первых 5 см отсутствуют лабильные белково-углеводно-липидные вещества, характерные для биопродуцентов, а установлено наличие керогена – сильно преобразованного в анаэробных условиях органического вещества. Это свидетельствует о том, что распад попадающего в осадки органического вещества и образование керогена начинаются уже в верхних интервалах сапропеля на самых ранних стадиях диагенеза.

В Главе 5 *«Геохимические особенности зольной части сапропелей макрофитного и планктонного генезиса»* рассматривается геохимия минеральной (зольной) компоненты сапропелевых отложений исследованных озер. Показана геохимическая специфика органоминеральных сапропелей типовых озер юга Западной Сибири, представленных карбонатами хемогенной природы (низко- и высокомагнезиальные кальциты с примесью Sr и Mn) и биогенными карбонатами (арагонит). Высокое содержание CaO и карбонатов является одной из основных геохимических особенностей, отличающих сапропели озер юга Западной Сибири от озер Прибайкалья. Для прибайкальских озер характерно полное отсутствие карбонатов в минеральном составе осадков. Можно заключить, что геохимической особенностью донных осадков малых озер юга Западной Сибири является высокое содержание Ca в составе карбонатов в отличие от бескарбонатных сапропелевых отложений озер Прибайкалья, геохимической особенностью которых является накопление биогенного Si в зольной части сапропеля в составе створок диатомовых водорослей.

В Главе 6 *«Аутигенное минералообразование в раннем диагенезе озерных сапропелей»* показано, что во всех озерах выявлен восстановительный тип диагенеза, в ходе которого происходит трансформация химического состава поровых вод и образование



аутигенных минералов, прежде всего пирита, при непосредственном участии микроорганизмов – сульфатредуцирующих бактерий.

Установлена трансформация поровых вод в процессе раннего диагенеза сапропелевых осадков исследованных озер. Уменьшение содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  в поровых водах по глубине разрезов является отражением процессов сульфатредукции вследствие восстановления  $\text{SO}_4^{2-}$  при участии сульфатредуцирующих бактерий. При этом интенсивность уменьшения концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  по разрезам в озерах юга Западной Сибири намного выше, чем в озерах Прибайкалья, что свидетельствует о более интенсивной сульфатредукции в сапропелях западносибирских озер. Это может зависеть как от вещественного состава органического вещества (его доступности для жизнедеятельности сульфатредукторов), так и от валовых концентраций сульфатов в поровых водах.

В осадках всех озер, за исключением оз. Очки, выявлено присутствие аутигенного пирита, характерного для большинства современных восстановленных осадков. Сравнительный анализ показал, что в сапропелях озер юга Западной Сибири содержание восстановленных форм Fe и пирита в целом выше, чем в озерах Прибайкалья, что также свидетельствует о более интенсивных процессах сульфатредукции в западносибирских водоемах. Установлено, что интенсивность бактериальной сульфатредукции зависит не только от количества органического вещества, но и от степени его минерализации – сульфатредуцирующие бактерии способны утилизировать лишь сравнительно низкомолекулярное органическое вещество. Поэтому в природных обстановках сульфатредукция требует предварительной деструкции органического вещества. Это означает, что быстрое попадание слабо разложенного органического вещества в анаэробную среду не благоприятствует процессам сульфатредукции и требует более или менее длительного пребывания ОВ в анаэробных условиях.

В **Заключении** кратко изложены наиболее важные результаты исследования, которые еще раз подчеркивают фундаментальность проведенного исследования.

### **Научная новизна работы**

Получены новые данные по геохимии полных голоценовых разрезов сапропелей с ненарушенной стратификацией для типовых малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. Впервые установлены источники поступления, генезис и микробиологическая трансформация современного и захороненного органического вещества. Впервые в малых сапропелевых озерах Сибирского региона изучены процессы пресноводного восстановительного типа диагенеза. Впервые установлено, что в типовых малых озерах юга Западной Сибири формируются макрофитогенные органоминеральные (карбонатные) сапропели, а в малых



озерах Восточного Прибайкалья – планктоногенные бескарбонатные органические сапропели.

Основное содержание и научные положения по диссертации изложены в 35 статьях и тезисах докладов, в том числе 6 статей опубликовано в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 1 статья за рубежом и 5 – на английском языке в материалах конференций.

### **Практическая значимость работы**

Полученные А.Е. Мальцевым научные результаты могут стать фундаментом для разработки практических рекомендаций по рациональному использованию сапропелевых месторождений сибирского региона, в том числе для разработки стратегии и осуществления конкретных шагов по созданию предприятий по добыче и переработке сапропелей. Полученные диссертантом результаты, в частности, использованы в качестве рекомендаций в Проекте РФФИ № 17-45-540527 «Почему в Новосибирской области не развивается отрасль по переработке сапропелей? Естественнонаучный анализ», в котором А.Е. Мальцев является исполнителем.

По существу диссертации принципиальные замечания отсутствуют, что необходимо рассматривать не как свидетельство «идеальности» проведения и изложения А.Е. Мальцевым своей работы, а как близости точек зрения диссертанта и оппонента по основным вопросам. Поэтому приводимые ниже замечания не являются принципиальными.

1. Было бы полезно провести определение в озерных водах растворенного органического вещества (РОВ) и  $C_{орг}$ . Кроме того, характеризуя химический состав озерных вод в Главе 3, диссертант не указал среди них такой важной параметр, как *перманганатную окисляемость* – которая как раз и позволяет косвенно оценить содержание в воде РОВ. Не лишним было бы определить и  $C_{орг}$  в воде исследованных озер.

2. Второе замечание касается утверждения диссертанта, что «полученные данные по формам серы (S(II),  $S_{сульфидная}$  и S(IV)), показали, что в нижних интервалах кернов озерных сапропелей доминирует форма S(II), поскольку там обнаружен пирит». Это, скорее всего, справедливо, но утверждение о том, что сера находится в составе  $H_2S$  – совсем не обязательно. Как известно, сероводород, образовавшийся в ходе сульфатредукции, трансформируется не только в пирит, но образует и другие соединения восстановленной серы (кислоторастворимые моносulfиды, элементную серу, входит в состав органических веществ), содержание которых может оказывать значительное влияние на уровень накопления этих соединений в осадках.



В заключение отметим, что диссертация А.Е. Мальцева представляет собой законченное исследование, в котором проведено теоретическое обобщение по слабоизученной научной проблеме, связанной с исследованием геохимии голоценовых разрезов сапропелей типовых малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. В методическом отношении работа выполнена корректно, выводы основываются на большом фактическом материале и достоверны. Результаты исследования прошли апробацию и опубликованы, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации. Антон Евгеньевич Мальцев, несомненно, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент,  
ведущий научный сотрудник кафедры гидрологии суши  
географического факультета Московского государственного университета  
имени М.В.Ломоносова, доктор геолого-минералогических наук,  
профессор

**Виталий Савельевич Савенко**

27 ноября 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова» (географический факультет)

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ,  
Географический факультет  
Тел.: +7 (495) 939-54-70  
E-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru

Подпись В.С. Савенко удостоверяю:

Декан географического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова,  
чл.-корр. РАН



**Сергей Анатольевич Добролюбов**