

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
геологии и минералогии

В.С. Соболева Сибирского
отделения Российской
академии наук

И.И. Крук Николай Николаевич



10 августа 2017

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

Диссертация «**Геохимия голоценовых разрезов сапропелей малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья**» выполнена в Лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии (№216) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель **Мальцев Антон Евгеньевич** работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в Лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии (№216) в должности младшего научного сотрудника.

В 2006 году закончил биолого-почвенный факультет Томского государственного университета (Национальный исследовательский Томский государственный университет). В 2011 году поступил в очную аспирантуру в Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (приказ № 313 от 6 июля 2011 г) по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимическая методы поисков полезных ископаемых. В 2014 году окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимическая методы поисков полезных ископаемых с представлением диссертации.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 121 от 07.08.2017 года выдано в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель – **Леонова Галина Александровна**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии (№216) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения представленного доклада и материалов диссертационной работы принято следующее заключение:

Объектами исследования являются типовые малые озера юга Западной Сибири (Минзелинское, Большие Тороки, Иткуль) и Восточного Прибайкалья (Очки, Духовое, Котокель). **Предметом исследования** – керны сапропелевых отложений с ненарушенной

стратификацией, полученные в результате бурения дна озер до подстилающих пород: Иткуль (1,6 м), Большие Тороки (1,8 м), Минзелинское (5 м), Очки (4,5 м), Духовое (7 м), Котокель (14 м).

Цель диссертационной работы А.Е. Мальцева состоит в установлении закономерностей постседиментационного преобразования органического и минерального вещества сапропелевых отложений малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья на основе комплексного геохимического исследования полных голоценовых разрезов озерных отложений с ненарушенной стратификацией. В ходе исследования решены следующие задачи:

1. Установлены источники, генезис и микробиологическая трансформация современного и захороненного органического вещества по данным комплексного биологического анализа (биостратификация) и послойного распределения индикаторных групп микроорганизмов по стратифицированным разрезам сапропелевых отложений.
2. Исследован минеральный и элементный состав сапропелей, формирующихся в малых озерах юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья, выявлена геохимическая специализация озерных сапропелей исследуемых регионов.
3. Определены закономерности распределения органического вещества, $C_{орг}$, биогенных элементов (Н, N, S, P), отношения C/N и степень деструкции органического вещества по стратифицированным разрезам сапропелевых отложений.
4. Выявлены особенности изменения окислительно-восстановительных условий по разрезам и поведение элементов-индикаторов раннего диагенеза, участвующих в окислительно-восстановительных процессах (Fe, Mn, S).
5. Изучены процессы диагенетического преобразования сапропелевых отложений и механизмы аутигенного минералообразования на примере пирита. Определено влияние процессов сульфатредукции на изменение (метаморфизацию) химического состава поровых вод, выявлены формы нахождения S.

Актуальность исследования определяется слабой изученностью геохимии полных голоценовых разрезов сапропелей малых озер за исключением монографического исследования Масленниковой А.А. (2014) по геохимии озерной седиментации голоцена Урала. Недостаточно изучен вопрос выявления источников поступления, генезиса и трансформации современного и захороненного органического вещества, не считая отдельных работ Кордэ Н.В. (1960, 1968), Леоновой Г.А. (2013, 2014, 2017), Меленевского В.Н. (2011, 2015). Не исследована проблема пресноводного диагенеза донных осадков малых озер, а для глубоководных озер подобные исследования известны только для озер Онежского и Ладожского (Белкина Н.А., 2003) и оз. Байкал (Гранина Л.З., 2008). Это ставит проблему геохимических исследований озерных сапропелей в ряд чрезвычайно актуальных как в теоретическом, так и практическом аспектах.

Наиболее важные результаты, полученные соискателем:

Возраст сапропелевых отложений исследованных озер юга Западной Сибири (Иткуль, Большие Тороки, Минзелинское) по данным радиоуглеродного датирования оценивается в 5,7–7,8 тыс. лет (средний голоцен), озер Прибайкалья (Очки и Духовое) — в ~5,0–10,7 тыс. лет (ранний голоцен).

По данным биостратификации в озерах Очки и Минзелинское установлены источники поступления и генезис захороненного органического вещества. В оз. Очки на протяжении 10760 лет формировался планктоногенный сапропель (фито- и зоопланктон – автохтонный источник ОВ), а с заболоченных берегов поступали остатки зеленых мхов (аллохтонный источник ОВ). В оз. Минзелинское в период времени в 5905 лет, на стадии обводненного низинного гипнового болота, формировался торфянистый сапропель, в последующие временные периоды (3980–3185 лет) и до настоящего времени происходит накопление макрофитогенного сапропеля.

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-углеводные вещества, характерные для биопродуцентов, а установлено наличие керогена. 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.

Зольная часть сапропелевых отложений исследованных озер юга Западной Сибири в основном представлена карбонатами хемогенной природы. Это низко- и высокомагнезиальные кальциты с примесью Sr и Mn. Также выявлены карбонаты биогенной природы, и, в частности, арагонит в составе раковин моллюсков и рачков остракод. Высокое содержание CaO и карбонатов является одной из основных геохимических особенностей, отличающих сапропели озер юга Западной Сибири от озер Прибайкалья. Высокие содержания карбонатов в сапропелях западносибирских озер определяют геохимию ряда элементов, таких как Sr, Mg, Mn, распределение которых совпадает с распределением Ca.

Геохимической особенностью бескарбонатных сапропелей прибайкальских озер является накопление биогенного Si в зольной части сапропеля в составе створок диатомовых водорослей. Планктоногенные сапропели, в целом, обогащены биогенным кремнием в отличие от макрофитогенных сапропелей, где весь Si представлен терригенной компонентой. В сапропелях озер Прибайкалья распределение Sr, Mg, Mn совпадает с распределением элементов, отвечающих за терригенную компоненту осадка, в частности Al и Fe.

Во всех исследованных озерах установлен 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. Сравнительный анализ показал, что в сапропелях озер юга Западной Сибири содержание восстановленных форм Fe и пирита в целом выше, чем в озерах Прибайкалья, что может свидетельствовать о более интенсивных процессах сульфатредукции в западносибирских водоемах. Максимальные скопления пирита обнаружены в интервалах с самой высокой численностью сульфатредуцирующих бактерий, здесь же было зафиксировано резкое падение SO_4^{2-} в поровых водах, а также самые высокие значения восстановленных форм серы (и валовых значений S) в твердой фазе осадка.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации:

Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным исследованием и представляет собой пример комплексного изучения геохимии полных голоценовых разрезов озерных сапропелей. Соискатель лично участвовал в экспедиционных работах по бурению скважин в малых озерах юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья в 2011–2013 годах. Соискатель самостоятельно провел в полевых условиях аналитические измерения неустойчивых физико-химических параметров (pH, Eh, температура) в озерной воде и кернах сапропеля, пробоподготовку полевого материала (разгрузку кернов и герметичную их упаковку для транспортировки). В лабораторных условиях провел описание вещественного состава и стратиграфии одиннадцати кернов, подготовку образцов донных осадков к химическим анализам, провел комплекс работ по определению в них влажности, плотности и карбонатов. Соискателем лично проведена статистическая обработка данных, дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения. Диссертационная работа выполнялась соискателем в рамках реализации проекта РФФИ «Диагенез озерно-болотных отложений подгорно-равнинной полосы южно-байкальского побережья и лесостепной зоны Западной Сибири» (проект №11-05-00655) и Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН «Условия формирования, закономерности размещения и рациональное природопользование сапропелей Сибири» (проект № 125, 2011-2013 гг.).

Степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований.

Результаты диссертационной работы Мальцева А.Е., её научные положения и выводы являются достоверными и обоснованными. Достоверность представленных результатов исследований основывается на высоком научно-методическом уровне, представительности исходных данных, а также корректности использования общепринятых методик, глубокой проработке научной литературы и её широком использовании.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб: донных осадков – 200, биологических объектов – 56, озерных вод – 25, поровых вод – 70. Содержание карбонатов определено соискателем в 186 образцах донных осадков, минеральный состав – в 25, элементный состав органического вещества (C, H, N, S) — в 83 образцах. Фактический материал проанализирован комплексом высокочувствительных аналитических методов, с использованием современного программного обеспечения. Базовым аналитическим методом являлась атомно-абсорбционная спектрометрия (ИГМ СО РАН, аналитики — В.Н. Ильина, к.х.н. Ж.О. Бадмаева, Н.В. Андросова). Отдельные образцы проанализированы методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (аналитики — к.х.н. И.В. Николаева, к.х.н. С.В. Палесский, С.Ф. Нечепуренко), рентгенофлуоресцентным методом с использованием синхротронного излучения ускорителя ВЭПП-3 (ИЯФ СО РАН, аналитики – к.г.-м.н. В.А. Бобров, И.С. Кириченко). Минеральный состав осадков исследован рентгеноструктурным анализом на рентгеновском дифрактометре «ARL X'TRA» (ИГМ СО РАН, аналитик – Л.В. Мирошниченко). Часть проб биологических объектов и донных осадков изучались на сканирующем электронном микроскопе (TESCAN MIRA 3 LMU) с энергодисперсионной приставкой для микроанализа под руководством к.г.-м.н. Е.В. Лазаревой. Возраст сапропелевых толщ датирован радиоуглеродным методом (C^{14}) и методом ускорительной масс-спектрометрии (УМС ^{14}C) в ЦКП СО РАН (аналитики к.г.-м.н. Орлова Л.А., к.г.-м.н. Е.А. Пархомчук, к.г.-м.н. Петрожицкий А.В.). Элементный анализ органического вещества (C, H, N, S) в кернах выполнен в НИОХ СО РАН (аналитик — к.х.н. В.Д. Тихова). Микробиологические исследования в ИВЭП ДВО РАН д.б.н. Л.М.Кондратьевой и в Лимнологическом институте СО РАН к.б.н. М.Ю. Сусловой. Все аналитические исследования проведены в аккредитованных лабораториях, с применением аттестованных методик и стандартных образцов сравнения. Результаты исследований апробированы соискателем на российских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых журналах.

Научная новизна.

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. Установлено, Впервые установлено, что в типовых малых озерах юга Западной Сибири формируются макрофитогенные минерально-органические (карбонатные) сапропели, а в малых озерах Восточного Прибайкалья – планктоногенные бескарбонатные органо-минеральные и органические сапропели.

Практическая значимость работы соискателя.

Полученные научные результаты исследований 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.

Соответствие результатов работы научным специальностям.

Диссертационная работа А.Е. Мальцева представляет собой научно-квалификационную работу, посвященную изучению геохимии постседиментационных процессов органического и минерального вещества озерных сапропелей. Область

исследования полностью соответствует пункту 6 паспорта специальности 25.00.09 по геолого-минералогическим наукам – Изучение закономерностей распределения химических элементов и изотопов в природных процессах.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основные результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на Международных и Всероссийских конференциях: XIX, XX, XXI Международных научных конференциях (Школах) по морской геологии (Москва, 2011, 2013, 2015); Всероссийских совещаниях, посвященных 95- и 100-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона (Иркутск, 2012; 2017); VII, VIII Всероссийских литологических совещаниях (Новосибирск, 2013; Москва, 2015); IX, X Международных биогеохимических школах (Барнаул, 2015; Москва, 2017) и других. Соискатель имеет 35 публикаций, в том числе 6 статей опубликовано в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 1 статья опубликована за рубежом.

Основные публикации соискателя, в которых опубликованы материалы диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, и входящих в систему Web of Science:

1. Bogush A.A., Leonova G.A., Krivonogov S.K., Bobrov V.A., Tikhova V.D., Kondratyeva L.M., Kuzmina A.E., **Maltsev A.E.** Diagenetic transformation of sapropel from Lake Dukhovoe (East Baikal region, Russia) // Procedia Earth and Planetary Science. 2013. N 7. P. 81-84.
2. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К. Геохимические особенности голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 1. С. 83-93.
3. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Бобров В.А., Меленевский В.Н., Лазарева Е.В., Кривоногов С.К. Диагенетическое преобразование органо-минеральных сапропелей озера Большие Тороки (Западная Сибирь) // Геология и минеральные сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 3 (19). С. 65-75.
4. **Мальцев А.Е.**, Лазарева Е.В., Леонова Г.А., Бобров В.А., Мирошниченко Л.В. Минеральный состав и геохимия голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское (Новосибирская область) // Геология и минеральные сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 3с. Ч.2. С. 118-122.
5. **Мальцев А.Е.**, Богущ А.А., Леонова Г.А. Особенности химического состава поровых вод голоценового разреза сапропеля оз. Духовое (Южное Прибайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Т. 22. № 5. С. 517-534.
6. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Богущ А.А., Булычева Т.М. Эколого-геохимическая оценка степени антропогенного загрязнения экосистем обводненных карьеров г. Новосибирска // Экология промышленного производства. 2014. № 2. С. 44-53.
7. Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К., Богущ А.А., Бычинский В.А., **Мальцев А.Е.**, Аношин Г.Н. Биогеохимические особенности формирования сапропеля в бессточных озерах Прибайкалья (на примере озера Очки) // Геология и геофизика. 2015. № 5. С. 949-970.

Публикации в иных изданиях (избранные тезисы конференций):

1. **Maltsev A.E.**, Leonova G.A., Krivonogov S.K., Bobrov V.A. Biogeochemistry of the Big Toroki sapropel lake, Western Siberia // Mineralogical Magazine. Goldschmidt 2013 (Florence, Italy, 25-30 August 2013), 2013. V. 77. N 5. P. 1678.
2. Леонова Г.А., Бобров В.А., Богущ А.А., **Мальцев А.Е.** Сапропели: богатства со дна озер // Наука в России. 2014. № 1. С. 28-35.
3. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Бобров В.А., Мирошниченко Л.В. Минералогическая характеристика карбонатных минеральных осадков озера Иткуль (Западная Сибирь) // Материалы 8-го Всероссийского литологического совещания

- «Эволюция осадочных процессов в истории Земли». – Москва: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. Т. 1. С. 114-117.
4. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Мирошниченко Л.В., Бобров В.А., Богуш А.А., Кривоногов С.К. Минеральный состав планктоногенного сапропеля оз. Котокель (Прибайкалье) // Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – Москва: Изд-во ГЕОС, 2015. Т. III. С. 56-59.
 5. **Мальцев А.Е.**, Мирошниченко Л.В., Леонова Г.А., Бобров В.А., Богуш А.А. Роль сульфатредуцирующих бактерий в аутигенном минералообразовании на примере голоценового разреза сапропеля оз. Котокель // Материалы минералогического семинара «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2016)». – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С.155-156.
 6. **Мальцев А.Е.**, Леонова Г.А., Меленевский В.Н., Бобров В.А. Основные закономерности превращения органического вещества в раннем диагенезе современных осадков континентальных водоемов Сибири // Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы: Труды Биогеохимической лаборатории. – М.: ГЕОХИ РАН, 2017. Т.26. С. 217-221.
 7. **Мальцев А.Е.**, Бобров В.А., Леонова Г.А., Лазарева Е.В., Мирошниченко Л.В. Биогеохимические особенности формирования аутигенных минералов в озерно-болотных системах в процессе раннего диагенеза на примере верхового Выдринского болота и оз. Очки (Южное Прибайкалье) // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Пятого международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 19-20 июня 2017 г.). – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2017. С. 158-160.

Диссертация «Геохимия голоценовых разрезов сапропелей малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья» Мальцева Антона Евгеньевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по **специальности 25.00.09** – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Заключение принято на расширенном заседании Лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии (№216) ИГМ СО РАН. Присутствовали на заседании 21 человек (из них 8 докторов геолого-минералогических наук, 1 доктор технических наук, 6 кандидатов геолого-минералогических наук, 1 кандидат физико-математических наук, а также 2 научных сотрудника без степени, 2 младших научных сотрудника, 1 инженер. Протокол расширенного заседания Лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии (№216) ИГМ СО РАН № 2017/4 от 04 августа 2017 г.



Заключение оформил:

Гаськова Ольга Лукинична
Доктор геолого-минералогических наук,
секретарь диссертационного совета
Д003.067.02 ИГМ СО РАН