

Утверждаю

ВРИО директора ФГБУН Институт геологии и геохимии
им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН



к. г.-м.н. Е.В. Аникина

« 7 » мая 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Иванова Егора Владимировича «**Геохимические особенности донных отложений озера Байкал как показатель изменения природной среды в плиоцене–плейстоцене**», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле)

Диссертационная работа Е.В. Иванова посвящена анализу геохимических характеристик донных отложений озера Байкал, рассматривающихся автором как показатели/индикаторы макро- и мезомасштабных изменений природной среды в плиоцене и плейстоцене. Уже то, что материал для исследований получен в ходе реализации проекта «Байкал-Бурение» (совместные российско-японско-американские работы, 1998-1999 гг.) определяет несомненную актуальность темы. На обширной фактологической базе автору удалось выявить основные этапы формирования осадочной толщи озера Байкал в т.н. «необайкальскую стадию». Показано, что первый этап (4-2,9 млн. лет) характеризовался относительно спокойной седиментацией в условиях теплого и умеренно влажного климата. Ко второму этапу (2.8–1.5 млн. лет) приурочен активный тектогенез в Байкальской горной области (БГО), а также изменение климата Северного полушария. Для третьего этапа (1.5–0.3 млн. лет) были характерны масштабные горно-долинные оледенения в БГО. Наконец, в последние 0.3–0.01 млн лет (четвертый этап) воздействие климата на перенос продуктов химического выветривания выражено менее отчетливо.

Диссертация Е.В. Иванова состоит из Введения, четырех глав (каждая из них сопровождается выводами), Заключение, списка использованных источников (более 160 наименований) и 7 таблиц (приложения). Текст иллюстрирован 43 рисунками, а также тремя схематическими картами и несколькими таблицами.

Во **Введении** обоснована актуальность исследований, цель и задачи работы, приведены характеристики фактического материала и методов исследования, а также научной новизны. Здесь же присутствуют такие стандартные разделы, как Практическая значимость, Достоверность результатов, Основные защищаемые положения (всего их 4), Апробация работы, Структура и общий объем. Принципиальных возражений к Введению нет, однако есть несколько замечаний. 1) Методы исследования описаны очень кратко, из них не ясно, что исследовалось (вал? фракции? монофракции? обрабатывались ли перед анализами образцы или нет? и т.д.). Этот раздел следовало бы дать более развернуто. 2) пункт 4 Новизны – не вполне понятно, что хотел здесь сказать автор? 3) Защищаемое положение 1 – почему тут упомянута корреляция? Можно ли обойтись без нее? Защищаемое положение 3 – почему «... заимствуют элементные характеристики пород»? лучше – «наследуют». Не ясно также как могла/должна выглядеть «... зависимость изменения источников сноса от ... климатических условий»? Защищаемое положение 4 –

«... позволяет выявить источники сноса определяя изотопный состав отложений в области составов пород ...» написано неудачно! «Резкое изменение величин ...» – куда? в области положительных или отрицательных значений? от до.....? все это следовало бы конкретизировать. В целом защищаемые положения сформулированы очень сложно, в результате не всегда понятно, что в каждом случае защищается.

Цель работы – реконструкция вариаций природной среды в зависимости от изменения климата и геолого-тектонических условий Байкальского региона, а также установление источников осадочного материала, поступавшего на подводные перемычки оз. Байкал в течение последних 6 млн лет, по данным о макро- и микроэлементном составе осадков, вскрытых скважинами глубокого бурения в ряде районов оз. Байкал. Для ее достижения автором решен ряд задач: 1) на основании литостратиграфической документации и биостратиграфической модели для кернов скважины BDP-98 (Академический хребет) в отложениях, соответствующих среднему, верхнему плиоцену–плейстоцену отобраны образцы, соответствующие пиковым значениям климатических стадий; 2) проведена корреляция макро- и микроэлементного состава осадков Селенгино-Бугульдейской перемычки (скв. BDP-99) и Академического хребта (скв. BDP-98); 3) реконструированы условия осадконакопления и процессы выветривания на водосборных площадях в плиоцене-плейстоцене; 4) описаны изменения условий осадконакопления в зависимости от колебаний климатических и тектонических условий в источниках сноса; 5) выявлены комплексы пород, являвшиеся источниками тонкой алюмосиликокластики; 6) проведена оценка вклада различных источников в формирование осадочной толщи озера Байкал (на основе анализа Sr- и Nd-изотопных характеристик осадочных образований Академического хребта).

В первой главе (29 страниц) рассмотрены литологические особенности формирования осадочного выполнения озера Байкал в миоцене–плейстоцене. Глава состоит из 9 разделов: 1) Физико-географическая характеристика озера Байкал; 2) Байкальская осадочная летопись; 3) Разрез BDP-98 Академический хребет; 4) Возрастная модель разреза BDP-98; 5) Литологическая характеристика разреза BDP-98; 6) Разрез BDP-99 (Посольская банка) Селенгино-Бугульдейская перемычка; 7) Возрастная модель разреза BDP-99; 8) Литология разреза BDP-99; 9) Минералогические особенности подводных перемычек озера Байкал в миоцене–голоцене. Уже из перечисленных названий, очевидно, что данная глава содержит весь необходимый общий/справочный материал для последующих собственно геохимических построений. Важно подчеркнуть, что этот материал получен при непосредственном участии автора диссертации.

Замечания к главе 1. Стр. 13 – трудно согласиться с отнесением рассматриваемой автором территории к «высоким широтам». К последним, обычно, принадлежат области южнее и севернее 65 градуса. Стр. 14 – утверждение автора о том, что осадки оз. Байкал чутко реагируют на глобальные изменения климата должно быть, на наш взгляд, подтверждено ссылками на соответствующие источники. Странно видеть разный формат ссылок на один и тот же источник, например – [Кузьмин, Карабанов, Каваи, Горегляд, Иванов и др. 2001] и [Кузьмин и др., 2001] – стр. 17, 18 (такие примеры можно продолжить). Первый (по порядку) рисунок в диссертации обозначен не как рисунок, а как «карта схема 1» (стр. 17), следующий уже называется «рис. 1» (стр. 20). Кроме того, перепутан порядок ссылок на рисунки. Сначала идет ссылка на карту-схему 1. Потом на рис. 2, дальше на рис. 1 ... (стр. 18-19-20). Ссылка (первая) на рис. 3 имеется на стр. 21, а сам рисунок на стр. 30. На стр. 34 – сначала ссылка сделана на рис. 6, и только потом на рис. 5. Однако рис. 6 находится только на стр. 52. Стр. 25 – хорошо было бы привести фотографии галек зеленых сланцев с «характерной ледниковой штриховкой». Для гальки размером в 2-3 см ледниковая штриховка вряд ли возможна. Стр. 27, 28 – вместо термина «матрикс», автор при

описании песчаников употребляет слово «матрица». Кроме того, не ясно, что в работе понимается под термином «конкреция». На стр. 28 утверждается, что «...округлые карбонатные конкреции, поступают в осадок, скорее всего, вместе с песчаным материалом». Что значит «В осадках исследуемой толщи обычны конкреции и включения вивианита». Что имеется в виду? Стр. 38 – как понять предложение – «Они представлены углефицированными фрагментами растений или обломками древесины». Обломки древесины – это ведь тоже фрагменты растений. Не понятно, что имеется в виду под выражением «...поскольку отсутствует детальная минералогическая модель с учетом каждой стадии плейстоцена и плиоцена» (стр. 40). Обломки пород вряд ли следует относить к минеральным видам (стр. 40). Кроме того, не очень понятно деление минералов на тяжелые и акцессорные. При этом, например, гранаты, ильменит, магнетит, эпидот,.... относятся к тяжелым, а цирконы, турмалин, хлорит, гематит, силлиманит, хромшпинелиды, карбонаты, флюорит, ... – к акцессорным. А, в дальнейшем (стр. 91, рис. 26) все они отнесены к тяжелым. Стр. 41-42 – характер описания состава трех толщ в скважинах ВDP-98 и ВDP-99 в пп. 2 и 3 в существенной степени различен, что затрудняет их сопоставление. Выводы по первой главе (стр. 41-42) составлены не очень удачно. Понять их содержание трудно. Кроме того по тексту главы много редакционных погрешностей, неудачных выражений. Так, стр. 15 – что такое «25-30 миллионная история ...», «... климатическая континентальная запись ...», «пелитовый ил с редкими диатомеями глубоководных котловин»? (стр. 17); «... на наличие восстановительных условий на протяжении формирования всего разреза ...» – стр. 36; «Минералогические особенности формирования ...» – стр. 39; и др.

Во второй главе (30 страниц) на основе литературных данных рассматриваются условия образования Байкальской рифтовой зоны. Указывается, что в геологическом и тектоническом отношении регион является областью сочленения раннедокембрийского Сибирского кратона с фанерозойским Центрально-Азиатским складчатым поясом. Приводится краткая характеристика геологического строения упомянутой рифтовой впадины (разделы 2.1, 2.2 и 2.3). Во второй части главы (разделы 2.4–2.6) выполнено определение доминирующих источников кластического материала донных отложений позднего кайнозоя с использованием данных о макро- и микроэлементном составе осадков. На основании 240 анализов автором рассчитаны значимые различия состава химических элементов, характерных для теплых и холодных периодов геологической истории. При этом представляется важным вывод автора о том, что различия в особенностях накопления петрогенных элементов в ледниковые и межледниковые периоды не столь велики, как предполагалось ранее (стр. 54). Для реконструкции областей питания и, соответственно, потенциальных источников сноса вещества в оз. Байкал был использован ряд диаграмм. Таких, как диаграмма Bhatia в координатах $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$, дискриминационная диаграмма [Roser, Korch, 1988] для обломочных пород, диаграмма в координатах $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ [Петтиджон, 1976]. При этом на основании первой и третьей диаграммы предполагаются источники кислого состава (граниты, гранодиориты, дациты), второй – изверженные породы основного и среднего состава. В то же время, автор приходит к выводу, что данную диаграмму [Roser, Korch, 1988] можно использовать и для оценки степени химической переработки отложений палеоводосбора. Другой важный вывод состоит в том, состав терригенной части байкальских осадков отличается от состава пород, преобладающих в водосборном бассейне. Весьма аргументированным и интересным по подходу и обоснованности выводов является раздел 2.6, посвященный выявлению потенциальных источников сноса среди комплексов горного обрамления оз. Байкал. Среди основных результатов, описанных в этой главе, следует отметить вывод, что химический состав осадков обоих изученных разрезов чрезвычайно близок, при этом главные источники терригенного вещества оставались неизменными, в том числе и при изменении климатических условий.

Замечания к главе 2. Стр. 45 – на карте-схеме 2 (а также на карте-схеме 3 – стр. 66) хотелось бы видеть не только собственно геологические комплексы пород различного возраста и состава, но и контуры водосборного бассейна и положение основных водных артерий, впадающих в оз. Байкал. Стр. 46 – «мономинеральные кварциты» – это породы в существенной степени сложенные кварцем? На стр. 51 утверждается, что «... была установлена синхронность таких событий, как рост гор, появление в пределах горной страны покровных ледников ...» – но об этом выше нет ни слова! Стр. 57 – можно ли использовать корректно диаграмму Бхатия в ситуации оз. Байкал (все же эта диаграмма разработана на примере островодужных обстановок)? Стр. 58 – «... диаграмма ... позволяет реконструировать источники в изверженных породах на водосборной площади» – не ясно, что имеет в виду автор? Стр. 60-61 – трудно согласиться с использованием Е.В. Ивановым диаграммы $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ (это все же диаграмма для ПЕСЧАНИКОВ, тогда как автор наносит на нее химические анализы весьма тонкозернистых осадков). В тексте данной главы также довольно часто встречаются неудачные выражения, затрудняющие понимание. Например, «Ангино-Таланчанская островная дуга выделяется в центральной части озера Байкал и примечательна тем ...» (стр. 49); «... неизменность основных источников сноса ... в зависимости от изменения условий седиментации» (стр. 57); «... диаграмма ... экспонирует ... составы ... в поле ...» (стр. 57); «... характер источников в зависимости от изменения климатических свойств не менялся ...» (стр. 67-68) (меняться мог только характер материала, поступавшего в область осадконакопления); «... складчатых поясов Палеоазиатского океана ...» (стр. 73); и др. В целом же представляется, что главу 2 следовало бы разделить на две самостоятельные главы. В первой из них могла бы найти место именно характеристика геологического строения водосборного пространства, а также – литогеохимическая характеристика слагающих это пространство потенциальных комплексов-источников обломочного материала. Вторая же глава в этом случае должна была бы быть посвящена общей литогеохимической характеристике плиоцен-плейстоценовых осадочных образований Байкала.

Глава 3 (54 страницы) посвящена анализу обстановок седиментации и характера источников терригенного материала с использованием петрохимических модулей и индексов. В том числе индексы химического выветривания CIA и CIW, индекс зрелости осадков ICV. Интерпретация полученных данных показывает, что в плиоцене (4-2,9 млн. лет) осадочная толща формировалась в условиях близких к гумидным. В интервале 2,8–2,5 млн. лет началось похолодание, уменьшилось поступление выветрелого вещества, в дальнейшем (2,5–1,5 млн. лет) имело место колебания климата (потепления сменялись похолоданиями). В отрезке времени 1,5–0,01 млн. лет упомянутые колебания уже были более глубокими и продолжительными. В этом смысле весьма впечатляющим, на наш взгляд, является рис. 25, на котором показаны особенности изменения отношений $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в интервале 0–170 м в скважине BDP-98. Во второй части данной главы рассматривается отражение процессов регионального тектогенеза в разрезах вскрытых скважинами BDP-96 и 98. Показано, что эти процессы по времени совпадают с общим похолоданием климата на Земле. Автор на основании петрохимических данных, приходит к выводу, что влияние тектонических событий на изменение климата Байкальского региона практически не прослеживается. Геохимические данные, полученные автором диссертации, существенно уточнили ход проявления в регионе глобального похолодания в интервале 1,85–1,5 млн. лет, в том числе в отношении динамики как терригенного, так и биогенного процессов. В работе детально анализируется временной интервал 1,5-0,01 млн. лет. Показано, что осадки ледниковых стадий этого интервала (1,5-0,3 млн. лет) содержат значительно измененный терригенный материал, что, по мнению автора, связано с разрушением ледниками и ветрами почвенного слоя. Детально рассматривается этот процесс. В конце второго раздела главы

автором обобщены полученные данные по ледниковым и межледниковым стадиям обоих временных интервалов (2,8-1,5 и 1,5-0,3 млн. лет). В третьем разделе главы автор анализирует используемые в работе различные диаграммы (вариационные, классификационные, модульные), показывает, с какой целью они применялись, и основные результаты их использования. Показано, что ряд диаграмм отражают условия выветривания на водосборной площади, другие – связаны с поступлением обломочного материала, тектоническими и эрозионными процессами. В итоге процесс формирования осадочной толщи Байкала был разделен на 4 этапа. С помощью описанных диаграмм установлены общие черты и различия между отложениями Академического хребта и Селенгино-Бугульдейской перемычки. Кроме того, была реконструирована направленность выветривания для ледниковых и межледниковых интервалов.

Замечания к главе 3. Стр. 74 – «Индекс CIA используется для реконструкции климатических обстановок накопления осадочных пород в области размыва, а также для оценки объемов переноса выветрелых разностей пород в бассейн седиментации» – не понятно о чем тут идет речь, какое накопление осадочных пород в области размыва? Стр. 75 и др. – значения CIA (также как и CIW) должны даваться в целых единицах. Там же – значение CIA = 70 как граница составов теплых и холодных климатических эпох предложена не в работе [Маслов, 1998]. Стр. 76 – «... в ледниковые периоды происходил рост содержаний практически всех пороодообразующих элементов ...» – так как сумма указанных компонентов должна быть равна 100%, то рост ВСЕХ компонентов невероятен (что-то должно снижаться). Стр. 83 – при характеристике НМ ссылка должна быть [Юдович, 1981], или подобная ей. Стр. 98 – Следовало бы подумать насколько мощными могли быть коры выветривания, образывавшиеся в межледниковые эпохи? Стр. 100 – трудно согласиться с автором диссертации в том, что изменение значений CIA от 74.1 до 76.8 можно рассматривать как «резкое увеличение». Стр. 117 – автор использует диаграмму Ерофеева и Цеховского для континентальных отложений. Формально это в случае оз. Байкал правильно, но правильно ли это реально, учитывая размеры и глубины озера? Рисунки 35, 36 и 37 – большинство точек в них сконцентрировано у границы областей отложений гумидного и аридного климата, а на стр. 120 написано о «значительном смещении комплексов ледниковых и межледниковых отложений ... при транспортировке в горизонты разреза», но, может быть, это связано с тем, что применение указанной диаграммы в данном случае не вполне корректно? Стр. 126 (п. 2) – «Отложения обоих разрезов, НЕ СМОТРЯ (во всех случаях это должно писаться слитно!) на низкую степень литификации, близки по своим параметрам к глинистым сланцам, что согласуются с текстурно-структурными характеристиками отложений» – по каким параметрам *близки к глинистым сланцам* (все-таки глинистые сланцы – это преимущественно твёрдые глинистые породы явственно сланцеватого сложения, тёмно-серого, чёрного, реже красноватого или зеленоватого цвета). В тексте данной главы также встречаются неудачные выражения. Так, на стр. 81 – «... возникает при увеличении концентраций полевых шпатов в породе ...»; стр. 83 – «... осадочную толщу ... можно условно разделить на 2 этапа ...»; на стр. 86 – «... характерна весьма слабая раскачка тренда ...»; на стр. 85 – «... поведение тренда ТМ можно разделить на 3 этапа»; там же – «... глубокий сдвиг в сторону увеличения тренда ТМ». Что такое глубокие климатические стадии? (стр. 87) и «Интервал 1,5–0,01 млн. лет характеризуется наличием глубоких и продолжительных климатических стадий» (стр. 88). Стр. 89 – «... фиксируются в записях» – лучше – «... в осадочной летописи/разрезах». Стр. 105 – «... слабую реакцию на попытку разделения демонстрируют диаграммы ...». Трудно понять смысл предложения (стр. 107): «...более полевошпатовые разности пород фиксируются преимущественно в ледниковье, в то время как межледниковые интервалы тяготеют к более кремнистым разностям». Стр. 113 – «Донные отложения ... при вынесении на данную диаграмму

экспонируются преимущественно в 3 поля». Стр. 126 (п. 1) – «... осадочную толщу оз. Байкал можно разделить на 4 этапа ...».

В главе 4 (8 страниц) проанализирована Sr-Nd изотопная систематика осадков оз. Байкал, рассматриваемая Е.В. Ивановым как индикатор эндогенных и экзогенных процессов. На основании приведенного в данной главе материала автору удалось показать, что вариации отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в осадках, вскрытых скв. BDP-98, согласуется с аналогичными данными для разреза скв. BDP-96. Установлено также, что в отложениях древнее 5 млн лет фиксируется очевидное сходство изотопного состава стронция в отложениях как богатых, так и обедненных остатками диатомовых водорослей. Это интерпретируется как результат смешения терригенной и биогенной составляющих осадка во время формирования осадочной толщи Академического хребта под влиянием реки Палеобаргузин. Выявлена зависимость значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в обоих типах отложений от изменения условий терригенной седиментации. Показано, что максимальные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в осадках приурочены к эпохе начала активного тектогенеза в БГО (2.8–2.5 млн лет назад). Sr-Nd-изотопная систематика осадков, вскрытых скважиной BDP-98, свидетельствует о том, что осадочные образования Академического хребта сопоставимы по своим изотопным характеристикам с гранитоидами баргузинского и чивыркуйского комплексов, что выше было показано на основе анализа данных по их макро- и микрокомпонентному составу. По данным автора диссертации, можно также видеть смешение изотопного состава осадков теплых и холодных интервалов.

Замечания к главе 4. Замечания к данной главе, также как и к главам 1–3, имеют преимущественно редакционный характер. Например, на стр. 136-137 можно прочитать буквально следующее: «... демонстрируя отсутствие изменения основных источников сноса в ледниковье и межледниковье и, тем самым, *подтверждая вывод о значительном взаимопроникновении составов отложений при переносе в конечный бассейн седиментации* подводные структуры озера Байкал». (Курсив наш – Г.А. Мизенс и М.Т. Крупенин).

Обоснованность и достоверность полученных автором научных результатов определяется большим объемом уникального кернового материала, полученного в результате бурения глубоководных скважин BDP-98 и BDP-99 на подводном Академическом хребте и Селенгино-Бугульдейской перемычке в ходе реализации проекта «Байкал-Бурение» в 1998–1999 гг. Для выделения интервалов соответствующих стадиям MIS-104 – MIS-4 (верхний плиоцен–плейстоцен), изучения корреляционных связей по макро- и микроэлементному составу осадков автором детально изучено более 300 м керна (суммарная длина разрезов более 900 м). Содержания редких элементов установлены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Содержания петрогенных элементов определены методом РФА. Изотопные характеристики Sr и Nd осадков получены при кооперации с ведущими специалистами ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург) – В.П. Ковачем и М.Ю. Загорной. Аналитические работы выполнены с использованием аттестованных методик и сопровождались контролем качества анализов по МСО.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле).

Основные результаты диссертации опубликованы в журналах, индексируемых в международной базе журнальных статей WoS (автоматически входят в «список ВАКа») – всего 6 статей. К сожалению, ни в одной из них Е.В. Иванов не является первым или единственным автором.

Несмотря на сделанные многочисленные замечания, можно сделать вывод, что диссертационная работа Егора Владимировича Иванова является законченным научным исследованием, полностью отвечающим требованиям ВАКа к квалификационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук. Защищаемые положения обоснованы собранным и лично обработанным автором богатым фактическим материалом. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Все сказанное позволяет сделать вывод, что Егор Владимирович Иванов заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле).

Доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник лаборатории литологии
тел. сл. 8(343)287-90-32, e-mail – mizens@igg.uran.ru

Г.А. Мизенс

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории литологии
тел. сл. 8(343)287-90-31, e-mail – krupenin@igg.uran.ru

М.Т. Крупенин

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве отзыва ведущего предприятия на заседании Ученого совета ФГБУН Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН 07 мая 2018 г. (протокол № 5).

Ученый секретарь ФГБУН Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, к. г.-м. н.
Тел. сл. 8(343)287-90-16, e-mail – osipova@igg.uran.ru

Т.А. Осипова