

эпоху. Формирование их происходило на протяжении среднелейстоценовой эпохи. В соответствии с характером ведущего фактора рельефообразования – тектонического, в условиях значительно возросших темпов поднятия происходило интенсивное расчленение выработанной ранее поверхности. В составе яруса выделяются три подъяруса. Возраст верхнего подъяруса нами принимается как раннеилякский ( $Q_2^1$ ); средний подъярус соответствует среднеилякскому времени ( $O_2^2$ ) и нижний подъярус формировался в позднеилякское время ( $O_2^3$ ).

Нижний ярус рельефа ( $Q_{3,4}$ ) образовался в условиях резко возросших и прогрессивно нараставших скоростей поднятий при интенсивной деятельности эрозионных процессов. Ярус выражен на большей части рассматриваемой территории узкими, крутосклонными, глубокими эрозионными врезами, заложенными в днищах среднечетвертичных долин. Такая картина характерна для восточной части Зиддинской впадины, где сохранились самые нижние, обычно цокольные террасы. Глубина вреза в этих участках достигает 120 м. В наиболее расширенном участке долины р. Зидды, где располагается одноименный кишлак, террасы выражены очень слабо. Эта территория является наиболее прогнутающей частью впадины. Судя по отсутствию эрозионных и цокольных террас по бортам указанной долины, западная и центральная части Зиддинской впадины в настоящее время прогибаются. На это указывает переуглубление долины в устьевой части и в районе кишла. Зидды. Восточнее кишла. Зидды намечается увеличение глубины вреза. Формирование современного рельефа Зиддинской долины обусловлено новейшими тектоническими движениями и находится на стадии восходящего развития. История развития и стадийности формирования рельефа имеет важное значение для оценки величины денудационного среза рудных полей и месторождений и для выявления зон возможного возникновения гравитационных явлений. Таким образом, возраст палеозойского фундамента, перерабатывался и формировался в разные геологические эпохи новейшего этапа.

#### Литература

1. Таджикибеков М. Внутригорные впадины Гиссаро-Алая в новейшем этапе геологического развития. – Душанбе: Дониш, 2005. – 258 с.
2. Учебное пособие по геологической практике в Зиддинской долине / Ю.М. Казаков, Г.П. Крейденков, А.Н. Мамонтов, М. Таджикибеков, А.Х. Хасанов. – 2-е изд. – Душанбе, 2002. – 96 с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ РАСШИФРОВКИ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА-ГОЛОЦЕНА БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.В. Ощепкова

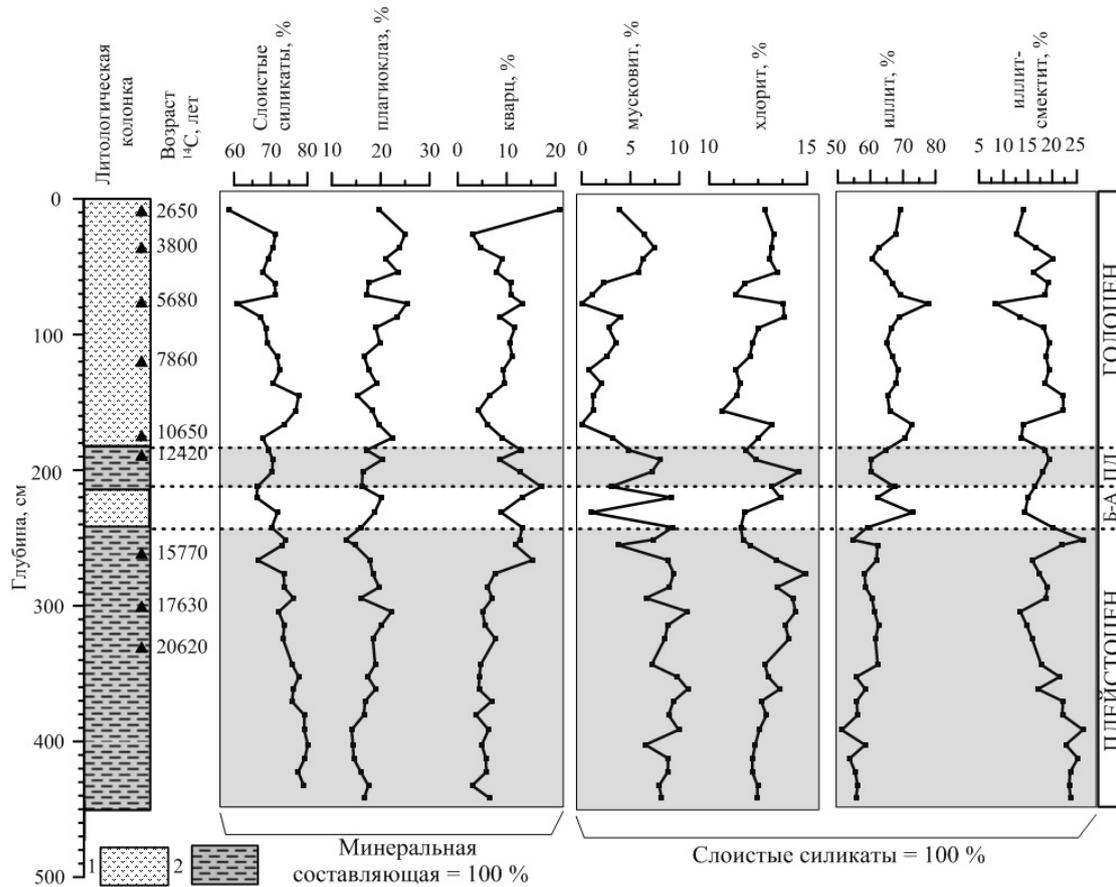
*Научные руководители с.н.с. В.А. Бычинский, м.н.с. С.А. Сасим  
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия  
Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

Большой объем геологической информации, необходимый для расшифровки изменений климата Внутриконтинентальной части Азии в кайнозое, содержится в осадках озер Байкальского региона. Донные отложения были подняты в рамках программы глубоководного бурения «Байкал-бурение» [2]. Наиболее детальная последовательность климатических и геологических событий позднего плейстоцена и голоцена может быть реконструирована по осадкам с Селенгино-Бугульдейской переемычки, с которой был поднят керн 24GC до глубины 472.5 см. Место бурения находится недалеко от устья р. Бугульдейка под 354-метровой толщей воды на подводном поднятии, характеризующимся непрерывным осадконакоплением в гемипелагических условиях. Полученный керн состоит из двух частей: нижней (472.5–350 см), сложной тонкими уплотненными ледниковыми алевритистыми глинами и верхней (350–0 см), представленной диатомовыми илами с различным содержанием биогенного кремнезема. В разрезе встречаются прослой бурого цвета, обогащенные терригенным органическим углеродом и обломочными карбонатами. Верхняя толща диатомовых илов от 0 до 350 см характеризуется значительными вариациями в содержании створок диатомовых [3].

Существующие реконструкции палеоклимата основываются на изучении створок диатомовых водорослей, палинологическом анализе, поиске и расшифровке геохимических индикаторов. Условия выветривания, существовавшие в водосборном бассейне, отражаются в составе и соотношении глинистых минералов в осадке. В геологическом строении территории водосборного бассейна озера Байкал преобладают граниты и в холодные климатические периоды в результате физического выветривания в озеро сносятся мусковит и хлориты. Потепление в регионе сопровождается развитием почв, образованием иллитов и иллит-сметитов. Таким образом, соотношение этих индикаторов может использоваться в реконструкциях условий окружающей среды в геологическом прошлом.

Биогенные индикаторы изменения климата и общий химический состав получить относительно просто, в то время когда минералогические исследования многометровых осадочных разрезов – очень дорогостоящий и занимающий много времени процесс. К настоящему моменту рентгенофазовым анализом, характеризующим минералогию, исследовано ограниченное число проб [5]. С целью детального анализа изменения минералов-индикаторов по разрезу была создана универсальная физико-химическая модель донных осадков,

сформированных на Академическом хребте [4]. Метод физико-химического моделирования, основанный на минимизации свободной энергии, реализован в универсальном программном комплексе (ПК) «Селектор» [6].



**Рис. Распределение минеральных компонентов в голоцен-плейстоценовых осадках оз. Байкал (кern 24GC) по данным моделирования. 1 – диатомовый ил; 2 - бездиатомовая ледниковая глина; Б-А – потепление, Беллинг-Аллеред; ПД – похолодание, Поздний Дриас**

Суть подхода состоит в том, что определяется глобальный минимум того или другого термодинамического потенциала моделируемой системы (в нашей задаче – минимум энергии Гиббса) на множестве ограничений, задаваемых системой уравнения баланса масс, неотрицательностью мольных количеств зависимых компонентов. Компьютерная модель вычисляет тот или другой минеральный парагенезис в зависимости от химического состава породы и других наложенных условий, определяющих термодинамическое равновесие системы.

В отличие от осадков Академического хребта, исследуемые отложения накапливались под влиянием привноса вещества крупной реки – Селенга, и эти особенности учтены при моделировании. На начальном этапе работы проводится подбор вероятных минеральных фаз, реализующихся в модели. Ранее было установлено, что основные минералы байкальских осадков – это кварц, полевой шпат (преимущественно альбит), мусковит, хлориты и глинистые смешанослойные алюмосиликаты – иллиты, иллит-сметтиты, хлорит-сметтиты. Диагностика смешанослойных силикатов затруднительна в связи с неоднозначностью определения единой стехиометрической формулы. В используемом нами методе термодинамического моделирования смешанослойные силикаты представлены твердыми растворами, для их описания составлен список миналов. Сводные условные стехиометрические формулы глинистых минералов рассчитываются автоматически на основании мольных термодинамически равновесных миналов.

Предполагается, что осадок представляет собой смесь глинистых и неслоистых минералов, помимо этого часть компонентов находится в водном растворе. Водный раствор в разработанной модели представляет собой отдельную фазу, и описывает некоторую часть воды находящуюся между слоями в глинистых минералах. В модель байкальских осадков включены следующие компоненты водного раствора:  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Al(OH)_4^-$ ,  $Al^{3+}$ ,  $AlOH^{2+}$ ,  $Fe(OH)_2^+$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_4^-$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $FeOH^+$ ,  $FeOH^{2+}$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $H_2$ ,  $H_2SiO_4^{-2}$ ,  $H_3SiO_3^+$ ,  $H_3SiO_4^-$ ,  $H_4SiO_4$ ,  $K^+$ ,  $KOH$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $MgOH^+$ ,  $Na^+$ ,  $O_2$ ,  $OH^-$ ,  $H^+$ ,  $H_2O$ .

Результаты расчета минерального состава донных осадков Селенгино-Бугульдейской перемычки, выполненного по 50 пробам керна GC-24, представлены на рисунке. Установлено что по всему осадочному разрезу преобладают глинистые минералы, на долю иллита приходится свыше 40%. В нижних ледниковых глинах его содержание снижается, наивысшие значения обнаружены в верхнем голоценовом интервале. Содержание иллит-

смектита, согласно данным моделирования, меняется от 5 до 25%. Вероятно, что эту группу минералов следует соотносить с хлорит-смектитом, определенным рентгенофазовым анализом. Содержание хлорита и мусковита, являющимися индикаторами холодного климата, выше в ледниковых глинах. Наиболее ярко это выражено в изменении содержания мусковита (5 – 10 % в ледниковых глинах, 0 – 5 % в диатомовых илах), что в целом хорошо соответствует рентгенофазовому анализу.

Расчетные данные позволяют выделить основные климатические события региона. Высокие значения содержания обломочных мусковита и хлоритов до глубины 240 см, соответствующему позднеплейстоценовому возрасту, отражают преобладание физического выветривания на фоне общего холодного климата. От глубины 180 см и вверх по разрезу наблюдается увеличение содержания иллитов и иллит-смектитов в осадках, а количество хлорита и мусковита, наоборот, снижается. Такое изменение характерно для смены физического выветривания на химическое, и по возрасту соответствует началу голоцена. Кроме явно выраженной во всех записях смены позднеплейстоценового оледенения на голоценовое потепление, на основании расчетного минерального состава определяются более короткие по времени климатические события. Это потепление Беллинг-Аллеред и похолодание Поздний Дриас (см. рисунок), отмеченные также по данным палинологического анализа [1].

Реконструкции природных обстановок прошлого являются единственным источником сведений о долгосрочных тенденциях развития ландшафтов и климата и, таким образом, служат для прогнозирования их изменений в будущем. Изучение внутриконтинентальных областей ярко показывает пространственную дифференциацию эко- и геосистем и неодинаковость их отклика на глобальные климатические изменения. Исследования ассоциаций глинистых минералов в осадочных летописях составляет важную часть комплексного подхода к реконструкциям прошлых изменений климата в водосборном бассейне. Такой подход может использоваться для исследования любых осадочных разрезов, поскольку для определения минерального состава необходимы только данные по химическому составу осадка.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-35-00266) и Иркутского государственного университета (индивидуальный исследовательский грант № 091-16-225).

#### Литература

1. Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Абзаева А.А., Вершинин К.Е., Летунова П.П., Орлова Л.А., Такахара Х., Миеси Н., Накамура Т., Крапивина С.М., Кавамура К. Ландшафты и климат Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене по результатам комплексных исследований торфяников // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 1. – С. 21–33.
2. Коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта. Глубоководное бурение на Байкале - основные результаты // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – №1-2. – С.8-35.
3. Коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта. Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – № 2. – С. 3–31.
4. Ощепкова А.В., Кузьмин М.И., Бычинский В.А., Солотчина Э.П., Чудненко К.В. Модели твердых растворов для расчета минерального состава донных осадков озера Байкал: новый подход к палеоклиматическим реконструкциям // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461. - №4. – С. 447-450.
5. Солотчина Э.П. Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. – Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. – 234 с.
6. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2010. – 287 с.