

А. Л. Бейзель^{1}, О. Б. Кузьмина¹, Е. С. Соболев¹*

Некоторые проблемы интеграции стратиграфической схемы четвертичных отложений Западной Сибири и модели МИС

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: beiselal@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Рассматривается одна из наиболее актуальных проблем совершенствования Региональной стратиграфической схемы четвертичных отложений Западной Сибири – интеграция ее с морскими кислородными стадиями. Внедрение в схему кривой МИС в ее «натуральном» виде наряду с традиционными интервалами задает единый вертикальный масштаб, а также дает возможность анализировать динамику изменений климата в отдельно взятом регионе. Рассмотрена интеграция в единую схему шкалы МИС, терминаций, лессово-почвенной последовательности, модели изменения климата по палинологическим данным, а также террасового комплекса речных долин.

Ключевые слова: четвертичный период, палеоклимат, модель МИС, стратиграфическая шкала, палинология, лессы и почвы, Западная Сибирь

A. L. Beisel^{1}, O. B. Kuzmina¹, E. S. Sobolev¹*

Some problems of integration of the stratigraphic scheme of the Quaternary deposits of Western Siberia and the MIS model

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation
* e-mail: beiselal@ipgg.sbras.ru

Abstract. One of the most urgent problems of improving the Regional stratigraphic scheme of the Quaternary deposits of Western Siberia is considered, namely its integration with marine oxygen stages. The introduction of the MIS curve into the scheme in its "natural" form, along with traditional intervals sets a single vertical scale, as well as the ability to analyze the dynamics of climate change in a particular region. The integration of the MIS model, terminations, loess-soil sequence, climate change model based on palynological data, as well as the terrace complex of river valleys into a single scheme is considered.

Keywords: Quaternary period, paleoclimate, MIS model, stratigraphic scale, palynology, losses and soils, Western Siberia

Введение

В настоящее время стало очевидным, что назрела необходимость внедрения шкалы морских изотопных стадий (МИС) в Унифицированную стратиграфическую схему четвертичных отложений Западной Сибири (УРСС-2000). Последний вариант шкалы МИС опубликован [1]. Эта шкала является инструментом глобальной корреляции разрезов квартера. Она приобретает роль языка, на котором говорят специалисты всего мира.

Сопоставление сибирской стратиграфической схемы с морской изотопной стратиграфией как с глобальным стандартом проводилось и ранее [2-7]. Проведенные корреляции показали определенное несоответствие морской и сибирской схем, однако эти разногласия обсуждались недостаточно.

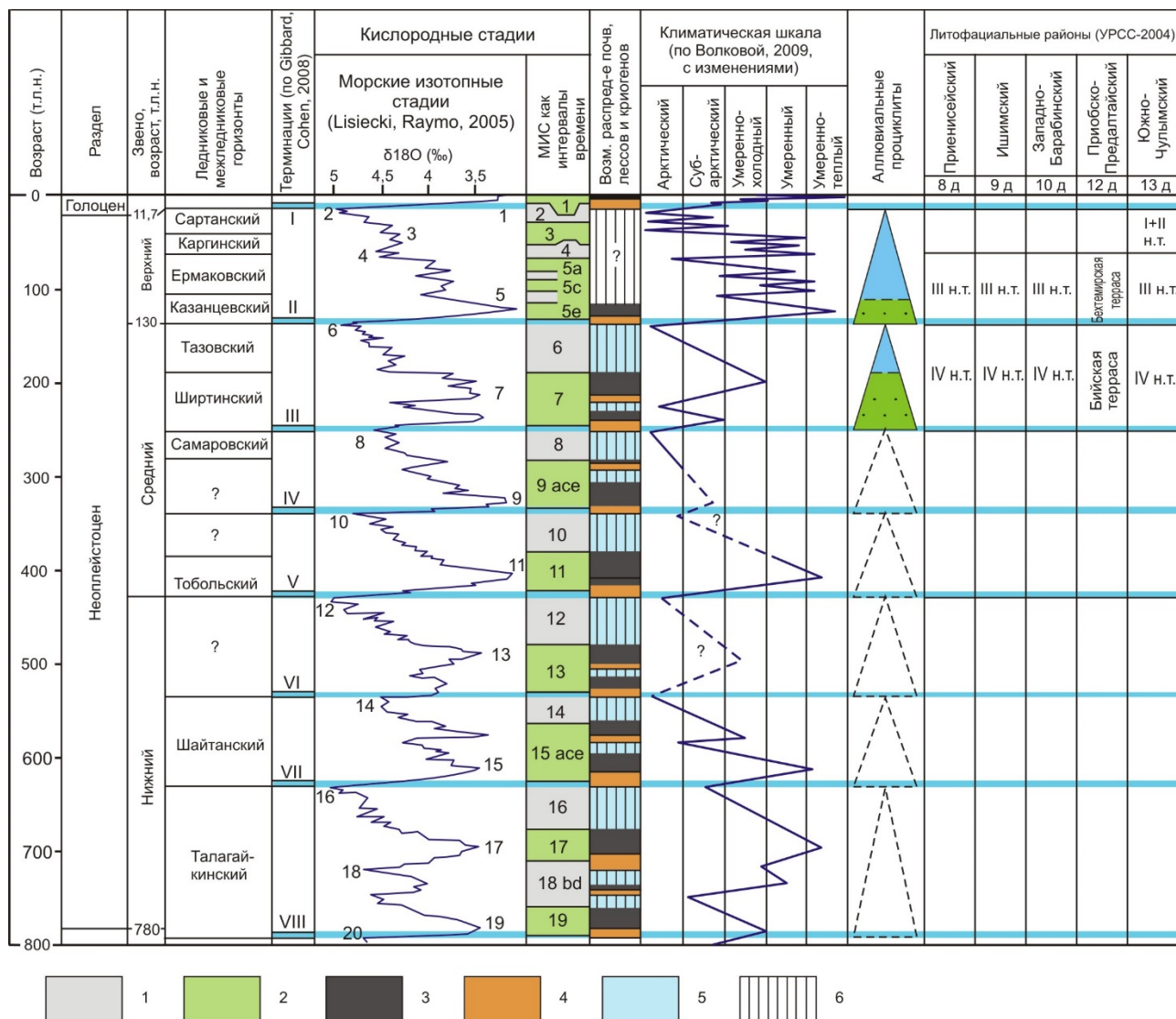


Рис. 1. Схема сопоставления УРСС четвертичных отложений эпохи Брунес Западной Сибири на уровне горизонтов, шкалы МИС, терминаций, возможного распределения почв, лессов и криогенов, палинологической кривой изменения климата и террасового комплекса. 1 – холодные стадии, 2 – теплые стадии, 3 – почвы, 4 – лессы, 5 – криогены, 6 - перерывы.

Трудности связаны с тем, что четвертичные разрезы территории Западной Сибири очень разнородны: на севере чередуются ледниковые и межледниковые отложения, осадки морских трансгрессий и регрессий, на юге на водоразделах развиты покровы лессов и почв, а в долинах магистральных рек – террасовые комплексы. Для всех этих комплексов пород свойственны свои типы циклично-

сти, не увязанные между собой как на практическом, так и на теоретическом уровне. Мы полагаем, что широко признанная на международном уровне шкала МИС – это идеальный инструмент для разработки единой модели палеоклимата и интегральной стратиграфической схемы.

Создается в некотором роде уникальная ситуация. До сих пор разработка региональной стратиграфической схемы велась путем комплексирования данных, полученных разными методами в ходе длительных исследований, согласований и пр. В нашем случае «явочным порядком» возникает основополагающая шкала, а к ней привязываются остальные результаты за весь период работ.

На рис. 1 представлена схема сопоставления общей стратиграфической шкалы четвертичных отложений Западной Сибири в интервале Брюнес на уровне горизонтов, шкалы МИС в двух графических вариантах, терминации, возможное распределение лессов, почв и криогенов, палинологическая кривая изменения климата, а также террасовый комплекс речных долин. Далее мы охарактеризуем перечисленные блоки этой схемы, а также постараемся осветить проблемы, возникающие в связи с их интеграцией.

Обсуждение

Стратиграфическая схема взята нами по утвержденной УРСС-2000 [7]. В интервале Брюнес в ней насчитывается 11 горизонтов, отражающих чередование эпох похолоданий и потеплений. В некоторых поздних публикациях [8] используется более дробная шкала С.А. Архипова [4], состоящая из 15 горизонтов. Однако и этот вариант уступает в дробности шкале МИС, насчитывающей в этом интервале 19 стадий. Беря за основу шкалу МИС, мы автоматически приходим к выводу о неполноте западносибирского разреза. Е.Б. Карабановым с соавторами [5], установлено, что в байкальской палеоклиматической записи биогенного кремнезема в пределах эпохи Брюнес выделяются 10 теплых межледниковых и 9 холодных ледниковых периодов, что совпадает с морскими изотопными записями, но не соответствует западносибирской стратиграфии, где имеется только 8 межледниковых интервалов и 7 ледниковых. Эти отличия западносибирской шкалы от байкальской стратиграфии, вероятно, обусловлены неполнотой субаэральных разрезов Сибири.

Шкалу морских изотопных стадий мы предлагаем поместить в стратиграфическую схему Западной Сибири в двух графических вариантах: (1) непосредственно в виде кривой, как она опубликована в работе Л. Лисицки и М. Раймо [1], а также (2) в виде временных интервалов (см. рис. 1). До сих пор во всех известных нам публикациях использовался только второй вариант. Внедрение оригинальной кривой наряду с интервалами, на наш взгляд, обещает многие преимущества. Дело в том, что границы стадий изначально, с 1950-х годов, было принято выделять делением отрезков между максимумами и минимумами кривой пополам [8]. В этом случае они в принципе не могут совпадать с какими-либо геологическими событиями. По этой причине вариант увязки УРСС и шкалы МИС [6], в котором проведено прямое сопоставление изотопных стадий со всеми стратонами общей шкалы, не может быть принят. Геологические собы-

тия и рубежи нужно увязывать с максимумами и минимумами кривой – особенно с последними.

Кривая МИС, в отличие от интервалов, показывает динамику изменений климата. Уже при появлении первых ее вариантов было замечено, что колебания климата асимметричны. В. Брекер и Дж. ван Донк [10] отмечали, что пилообразный характер кривой отражает, с одной стороны, постепенную аккумуляцию льда на континентах, продолжающуюся в среднем около 90 000 лет, с другой – сравнительно быстрое таяние льдов менее чем за десятую часть этого времени. Периоды быстрого таяния льдов получили название *терминаций* (termination) и отражают резкое снижение $\delta^{18}\text{O}$ в океанах. Например, терминация 1 соответствует переходу от стадии 2 к стадии 1; терминация 2 связана с переходом от стадии 6 к стадии 5. Эти же авторы установили, что основной цикл колебаний осложняется наложенными (вторичными) осцилляциями края ледника.

Терминации на рис. 1 показаны по работе [11]. В эпохе Брунес выделяется 7 терминаций, обозначаемых римскими цифрами. Они находятся в основании «основных» циклов по В. Брекеру и Дж. ван Донку. В связи с этим имеются все основания считать началом цикла колебаний климата именно терминации, а точнее – точку минимума кривой (максимума похолодания), после которого температура начинает быстро подниматься. Таким образом, климатические циклы выделяются в интервале от одного минимума кривой до другого, а «основные» циклы (для которых еще нет названия!) – от одной терминации до другой. Если терминаций насчитывается 7, а изотопных стадий не 14, а 19, то понятно, что два с половиной цикла оказались без терминаций. Они попадают в категорию «вторичных» осцилляций, где находятся также колебания с дополнительными буквенными индексами.

Важнейшее значение для разработки региональной стратиграфической шкалы (РСС) имеют палинологические исследования. В четвертичный период наблюдались различные по интенсивности и продолжительности неоднократные колебания климата. Многолетние исследования четвертичной палинофлоры Западной Сибири большим коллективом палинологов Института геологии и геофизики СО РАН позволили выявить общую направленность изменения климата в этот период. Было установлено пять типов климатических обстановок, каждому из которых соответствуют определенные растительные формации с типичными для них спорово-пыльцевыми спектрами.

Для ледниковых эпох характерен арктический, субарктический и перигляциально-холодный климат. Отложения этих эпох содержат тундровые и лесотундровые спектры, и лишь в позднем ледниковье они сменяются спектрами северной тайги. В ледниковые эпохи были развиты арктические, субарктические тундры, перигляциальные степи, лесостепные формации.

В межледниковье климат менялся от умеренно-теплого до умеренно-бореального. Для этих эпох характерны таежные формации. Для климатических оптимумов характерен умеренно-теплый климат. Отложения содержат спектры южной и средней тайги. Умеренно-холодный бореальный климат приходится на окончание межледниковья, реже – на начало оледенения.

Результаты палинологических исследований показаны на рис. 1 в виде интегральной кривой. Она разработана В.С. Волковой [6], но для нашей схемы частично модифицирована. Ей придан пилообразный характер вместо сглаженных экстремумов оригинала, и она приведена к единому масштабу со шкалой МИС. Для масштабирования и сопоставления были использованы опорные точки, в которых корреляция наиболее надежна: основание позднего и среднего неоплейстоцена, смена полярности Брюнес-Матуяма и некоторые другие. Кроме того, узлы перегиба кривой были смещены по вертикали в небольших интервалах таким образом, чтобы они совпали с ближайшими максимумами и минимумами кривой МИС. Мы осознаем, что последняя операция подвержена критике, однако полученный результат настолько красноречив, что было решено поместить его в эту работу. Понятно, что В.С. Волкова при разработке своей модели опиралась на глобальную кривую. Количество смен климата, горизонтальный размах колебаний (кроме позднего неоплейстоцена) и пр. – все это было согласовано. Исключением является разве что стадия МИС 9. В.С. Волковой учитывались также данные Е.Б. Карабанова и соавторов [5] по части наличия перерывов в западносибирском разрезе. В настоящее время для обоснования этих перерывов необходимы специальные исследования. Тем не менее, можно говорить о том, что большинство климатических колебаний глобальной шкалы адекватно отражаются в разрезе плейстоцена Западной Сибири.

Возможно, наиболее интересным моментом для нас является вопрос о том, к каким отрезкам кривой МИС приурочены лессовые покровы. В монографии [7] сопоставление сделано не по кривой, а с интервальными кислородными стадиями. Утверждается, что нечетным кислородным стадиям отвечают почвы, а четным – лессы; кроме того, в холодных стадиях под лессами синими полосками вне масштаба показаны криогенные этапы. По нашим представлениям, это слишком упрощенный подход.

Проблема лессов усугубляется тем, что в литературе до сих пор нет единства взглядов по поводу их генезиса, а цикличность их строения никак не увязана с другими типами цикличности (например, с террасами). В работах И.А. Волкова [3, 12] показано, что накопление лессов происходило во время терминаций, т.е. в достаточно короткие интервалы времени. Однако впоследствии эти авторы отошли от подобных представлений. Наши полевые исследования подтверждают отмеченное положение. Характерный пример – это сартанский криогенный горизонт, широко развитый на юге Западной Сибири. Это был максимум похолодания плейстоцена (Last Glacial Maximum – LGM, MIS 2). Морозобойные трещины достигают гигантских размеров – до нескольких метров глубины. Сеть полигональных трещин формировалась длительное время, когда лессов еще не было. Лессы начали накапливаться внезапно, когда трещины еще не успели оттаять. Именно с этого момента началась терминация I. В то же время, строение лессовой пачки в некоторых разрезах показывает, что в ее основании имеется тонкий слой настоящего аллювия. Иными словами, по вечной мерзлоте и по снегу потекла вода. В лессовые суглинки порода превратилась несколько позже. И.А. Волков так и пишет: «В последующее время поверхностный сток прекратился. На междуречьях и

склонах стал интенсивно накапливаться покров лессовидных отложений (ельцовский лесс)» [12, с. 1433]. По нашим представлениям, прекращения поверхностного стока не было. Просто вода сильно остыла и изменила свои свойства. Разумеется, данный вопрос требует специальных исследований.

Таким образом, лессы формируются на отрезках между максимумами похолоданий и потеплений, во время терминаций, в течение весьма ограниченных отрезков времени. Это еще одно доказательство того, что лессы не могут быть эоловыми [13, 14]. Так быстро они могут выпасть в осадок только из водной среды. На кривой МИС отрезки, соответствующие отложению лессов, представлены ветвями крутого подъема от четных номеров к нечетным. На рис. 1 интервалы между почвами и лессами показаны как перерывы в осадконакоплении. Почвы остаются на своем месте – в нечетных стадиях.

Лессово-почвенная последовательность юга Западной Сибири отнюдь не является такой непрерывной, как полагают некоторые исследователи. Недавними исследованиями с помощью новейших методов ОСЛ-датировок выявлен крупный перерыв в стратотипических лессово-почвенных разрезах Новосибирского Приобья, охватывающий интервал от МИС 2 до МИС 5d включительно [15] (см. рис. 1). Площадное распространение этого перерыва пока не установлено, но обращает на себя внимание тот факт, что перерыв находится ниже терминации I, наиболее интенсивной среди всех событий такого рода в плейстоцене, и приурочен к времени последнего гляциального максимума. Геологическое значение этого перерыва еще предстоит выяснить. Мы приходим к выводу, что перерывы в осадконакоплении в отложениях речных долин и на водоразделах имели место в разное время.

Отдельной задачей является сопоставление кривой МИС со стратиграфическими схемами речных долин, т. е. с комплексами террас. Фактически речь идет о корреляции ЛПП-циклитов с речными террасами. Несмотря на то, что территориально эти ареалы близко соседствуют, а частично даже и перекрываются, вопрос корреляции этих циклитов не проработан. Вопрос можно поставить и таким образом: где в террасовых комплексах находятся терминации? Казалось бы, ответ очевиден – они должны находиться в основании базальных аллювиальных пачек. Но как тогда быть с лессовыми пачками, во многих случаях венчающими разрезы террас? Согласно нашей модели, изложенной выше, терминация и начало цикла должны быть в основании лессов. Кроме того, под ними должен находиться криогенный горизонт и аналог почвы. Согласно литературным данным, все это есть в террасовых разрезах, но рассмотрение данного вопроса выходит за рамки настоящей работы. На рис. 1 показаны два верхних проциклита в интервале до стадии МИС 7 и терминации III. Остальные террасы из УРСС-2000 показаны условно в связи с неясностями корреляции с кислородными стадиями.

Заключение

Таким образом, в нашей работе предложены пути совершенствования стратиграфической схемы квартера Западной Сибири. Ее стержнем должна быть модель МИС, являющаяся хронологическим и климатическим каркасом схемы.

Необходимо внедрить непосредственно саму кривую вместе с интервальной шкалой стадий. Терминации играют важную роль в формировании циклической структуры схемы. Установлено, что лессы отлагались в короткие отрезки во время терминаций, и они не могли иметь эоловую природу. За счет этого значительно увеличились интервалы времени формирования криогенных структур – периоды ненакопления осадков. Региональные перерывы в разрезах речных долин и на водоразделах формировались в разное время. Речные террасы хорошо укладываются в интервалы времени между терминациями.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке программы ФНИ FWZZ-2022-0004 (ИНГГ СО РАН).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lisiecki L.E., Raymo M.A. Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. – 2005. – Vol. 20. – Iss.1. – Pp. 1-17.
2. Архипов С.А. Хроностратиграфия плейстоцена севера Сибири // *Геология и геофизика*. – 1989. – № 6. – С. 13-32.
3. Волков И.А., Зыкина В.С. Цикличность субаэральная толщи Западной Сибири и история климата в плейстоцене // *Эволюция климата, биоты и среды обитания человека в позднем кайнозое Сибири*. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1991. – С. 40-51.
4. Архипов С.А., Зыкина В.С., Круковер А.А., Гнибиденко З.Н., Шелкопляс В.Н. Стратиграфия и палеомагнетизм ледниковых и лессово-почвенных отложений Западно-Сибирской равнины // *Геология и геофизика*. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1027-1048.
5. Карabanов Е.Б., Прокопенко А.А., Кузьмин М.И., Вильямс, Ф.Ф., Гвоздоков А.Н., Кербер Е.В. Оледенения и межледниковья Сибири. Палеоклиматическая запись из озера Байкал и ее корреляция с западносибирской стратиграфией // *Геология и геофизика*. – 2001. – Т. 42. – № 1-2. – С. 48-63.
6. Волкова В.С. Стратиграфия и палеогеография плейстоцена Западной Сибири: современное состояние, проблемы и пути их решения // *Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода*. – 2009. – № 69. – С. 25-31.
7. Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины // *Объяснительная записка / Под ред. В.С. Волковой*. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. - 64 с.; прил.
8. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Изд-во “Гео”, 2012. – 477 с.
9. Боуэн Д. Четвертичная геология. М.: Мир, 1980. – 278 с.
10. Broecker W.S., van Donk J. Insolation changes, ice volumes, and the O^{18} record in deep sea cores // *Rev. Geophysics and Space Phys.* – 1970. – Pp. 168-198.
11. Gibbard P., Cohen K. M. Global Chronostratigraphical Correlation Table for the Last 2.7 Million Years // *Episodes*. – 2008. – Vol. 31. – № 2. – Pp. 243-247. DOI: 10.18814/epiiugs/2008/v31i2/011.
12. Волков И.А., Орлова Л.А. Каргинско-сарганское время и голоцен юго-восточной части Западной Сибири по данным радиоуглеродного метода датирования // *Геология и геофизика*. – 2000. – Т. 41. – № 10. – С. 1428-1442.
13. Бейзель А.Л., Соболев Е.С., Ян П.А. Новые данные по проблеме происхождения гривного рельефа юга Западной Сибири // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конф «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-*

ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. Т 2, № 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – С. 3-9.

14. Бейзель А.Л., Кузьмина О.Б., Соболев Е.С., Ян П.А. Новые данные по проблеме происхождения гривно-озерных ландшафтов на юге Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2022. XVIII Междунар. науч. конф «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. Т 2, № 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. – С. 56-62.

15. Вольвах Н.Е., Курбанов Р.Н., Вольвах А.О., Зыкина В.С., Хащевская Д.Е., Булард Я.П., Мюррей Э.С. Первые результаты люминесцентного датирования лёссово-почвенный серий юга Западной Сибири (опорный разрез Ложок) // Известия РАН, Серия Географическая. – 2021. – Т. 85. – С. 284–301. <https://doi.org/10.31857/S2587556621020151>

© А. Л. Бейзель, О. Б. Кузьмина, Е. С. Соболев, 2023