

На правах рукописи



ЛИХАЧЕВА Олеся Юрьевна

**ОСНОВНЫЕ ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НЕОГЕНА ЮГА
ПРИМОРЬЯ (диатомовый анализ)**

Специальность 25.00.01 – общая и региональная геология

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Владивосток

2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель: доктор географических наук,
старший научный сотрудник
Пушкарь Владимир Степанович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник,
Дальневосточный геологический
институт ДВО РАН,
заведующий лабораторией
Голозубов Владимир Васильевич

доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник,
Тихоокеанский океанологический
институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
заведующий лабораторией
Цой Ира Борисовна

Ведущая организация: ФГБУН Тихоокеанский институт
географии ДВО РАН

Защита диссертации состоится «___» _____ 2013г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159. Факс: +7 (423)231-78-47; E-mail: fegi@vlad.ru, office@feги.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159, ученому секретарю диссертационного совета Д 005.006.01.

Автореферат разослан «___» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Проблема взаимосвязи абиотических и биотических событий является одной из важных проблем современного естествознания. От ее решения зависят знания о происхождении и закономерностях развития органического мира, а также объективность стратиграфических и палеогеографических построений. На практике это открывает широкие возможности при разработке и детализации стратиграфических шкал. Для успешного решения такой сложной задачи важным является установление периодичности проявления абиотических событий и ее коэволюционной связи с эволюцией органического мира.

По мере накопления новых данных по стратиграфии кайнозоя Приморья, возникла острая необходимость пересмотра парадигмы существующей региональной стратиграфической схемы, что обеспечит дальнейшее развитие региональной геологии. В этом отношении диатомеи, являясь тонкими индикаторами изменений условий формирования осадочных толщ и характеризующиеся достаточно высокими темпами эволюционных изменений, представляют собой ортостратиграфическую группу микроорганизмов, с помощью которой возможно решение задач зональной стратиграфии, уточнение и детализация стратиграфических схем.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка и обоснование зональной диатомовой шкалы для неогеновых отложений юга Приморья, применимой к различным фациям озерных и речных бассейнов и синергетически отражающей периодичность геологических процессов региона.

В процессе работы были поставлены следующие задачи:

1. Выделение комплексов диатомей из отложений опорных и стратопических разрезов неогена с анализом их пространственно-временных взаимоотношений.

2. Выбор стратиграфически важных видов диатомей, определение характера их исчезновения (эволюционное или экологическое) и на этой основе с учетом данных абсолютного датирования выделение этапов эволюционного развития диатомовой флоры.

3. Проведение анализа причинной связи между эволюцией диатомей и геологическими событиями (тектогенез, вулканизм, климат), а также возможной корреляции с соседними регионами на основе общей эволюционной этапности развития диатомей.

4. Выделение и обоснование критериев проведения зональных границ и разработка на этой основе диатомовой шкалы неогеновых отложений.

5. Проведение анализа палеоклиматических и фациальных условий формирования неогеновых отложений юга Приморья, отраженных в зональных диатомовых комплексах.

Фактический материал, методы исследований и личный вклад автора. Проведен диатомовый анализ 875 образцов из 22 разрезов и 5 скважин в

отложениях синеутесовской и нежинской свит (нижний миоцен), новокачалинской (самая верхняя часть нижнего-средний миоцен) и усть-суифунской (верхний миоцен) свит, плиоценовых отложений (кедровская толща), отобранных лично автором во время полевых работ (2005-2011 г.г.), а также полученных от Б.И. Павлюткина, В.С. Пушкаря (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН) и С.В. Коваленко (Приморское геологическое объединение). Данные спорово-пыльцевого анализа, корректирующие стратиграфические построения автора, предоставлены Т.И. Петренко (ДВГИ ДВО РАН), данные палеоботанического анализа и абсолютного датирования – Б.И. Павлюткиным и С.В. Коваленко.

Изучение и фотографирование створок диатомей выполнялось с помощью светового (Axio Lab.A1 Zeiss) и сканирующего (Carl Zeiss EVO 40) микроскопов, диатомовый анализ проведен по классификации, принятой большинством российских и зарубежных исследователей, с учетом последних таксономических изменений, указанных в диатомовых базах (Algaebase и EDD).

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии на всех стадиях исследования: получении геологических образцов в ходе экспедиционных работ, в камеральных исследованиях (подготовка постоянных препаратов, микроскопические исследования в световом и сканирующем микроскопах), в обработке и интерпретации полученных данных, в оформлении выводов и подготовке публикаций по проведенной работе.

Научная новизна. Впервые для отложений неогена юга Приморья разработана и обоснована региональная диатомовая зональная шкала, подразделения которой отражают геобиологические события. При этом отмечено, что эволюция диатомей была тесно связана с поднятием Тибетского плато, формированием и развитием Восточно-Азиатского муссона, интенсификация которого, наряду с раскрытием Японского моря, во многом определила региональные палеоклиматические изменения, отраженные в зональных диатомовых комплексах.

Теоретическая и практическая значимость. Проведенные исследования важны в области разработки теории биосферной стратиграфии, а также для построения палеоклиматических реконструкций с учетом муссонной изменчивости. В практическом отношении разработанная шкала может быть использована при создании региональной схемы неогена Приморья.

Основные защищаемые положения:

1. Установлена и обоснована стратиграфическая последовательность комплексов диатомей в отложениях неогена Южного Приморья, позволившая выделить 4 эволюционных этапа в их развитии: раннемиоценовый, среднемиоценовый, позднемиоценовый и плиоценовый.

2. Зональная диатомовая шкала неогена Южного Приморья, включающая 7 зон частичного распространения (интервал-зоны) с обоснованием выбора видов-индексов зон из представителей родов *Aulacoseira*, *Ellerbeckia*, *Miosira*, имеющих широкую экологическую толерантность к различным типам континентальных биотопов.

3. Главными геологическими событиями, повлиявшими на формирование

отложений неогена и отраженными в комплексах диатомей, были как планетарная палеоклиматическая ритмика, так и региональные события: гималайский тектогенез, раскрытие Японского моря, характер регионального вулканизма, перестройка гидрографической сети (возникновение крупных водотоков), интенсификация Восточно-Азиатского муссона.

Апробация работы. Результаты работы доложены на: международной научной конференции диатомологов «Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия» (Борок, 2005, 2013; Минск, Беларусь, 2007, 2009; Звенигород, 2011), 19-м международном диатомовом симпозиуме (Иркутск, 2006), всероссийском совещании «200 лет отечественной палеонтологии» (Москва, 2009), 23-ей всероссийской конференции молодых ученых «Структура литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2009), региональной конференции молодых ученых «Проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России» (Владивосток, 2006, 2008, 2010, 2012), XV всероссийском микропалеонтологическом совещании «Современная микропалеонтология» (Геленджик, 2012), IX всероссийской научной школе молодых ученых-палеонтологов «Современная палеонтология: классические и новейшие методы» (Москва, 2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 работ, из них две в реферируемых журналах.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы (218 названий, из них 83 зарубежных) и приложения (таблица стратиграфического распределения видов и разновидностей диатомей в неогене Приморья, а также таблицы микрофотографий); содержит 35 текстовых рисунков и 1 таблицу. Основной текст диссертации изложен на 128 страницах.

Благодарности. Автор приносит искреннюю благодарность своему руководителю д.г.н. В.С. Пушкарю за идейную помощь и постоянное внимание при выполнении работы, а также д.г.-м.н. Б.И. Павлюткину и (ДВГИ ДВО РАН) – за организацию полевых исследований, переданную коллекцию образцов из неогеновых отложений Приморья и постоянные консультации в области региональной стратиграфии. За помощь в проведении полевых работ автор также выражает благодарность д.г.-м.н. В.Т. Казаченко и к.г.-м.н. С.Н. Лаврику (ДВГИ ДВО РАН). Неоценимую помощь при идентификации створок диатомей, консультации в области сканирующей микроскопии и таксономического анализа оказали д.б.н. Г.К. Хурсевич (БГПУ им. М. Танка, г. Минск, Беларусь) и к.г.-м.н. М.В. Черепанова (БПИ ДВО РАН). Работа была бы неполной без анализа эволюционной изменчивости морфологических признаков створок диатомей на молекулярно-генетическом уровне, помощь в котором была оказана к.б.н. М.В. Усольцевой (ИЛ СО РАН, г. Иркутск). Автор благодарен также своим коллегам к.г.н. Ю.А. Микишину, Т.И. Петренко и И.Г. Гвоздевой, к.г.-м.н. С.О. Максимова, В.Г. Сахно, И.В. Кемкину (ДВГИ ДВО РАН) за постоянное внимание к работе и ряд критических замечаний. Особую признательность автор выражает академику А.И. Ханчуку за внимание к

работе, поддержку интеграционных проектов и возможность участия в международных совещаниях.

Исследования были поддержаны грантами интеграционных и молодежных программ ДВО РАН №06-II-CO-07-027, №09-II-УО-08-003, №09-II-CO-08-001, №12-II-CO-08-024, , №13-III-B-08-185.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМА ДИАТОМОВОЙ СТРАТИГРАФИИ ВЕРХНЕКАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В главе рассмотрены проблемы стратиграфии верхнекайнозойских отложений юга Дальнего Востока, дан критический анализ работам А.П. Жузе, А.И. Моисеевой, Е. И. Царько, И.Б. Цой, В.С. Пушкаря, Б.И. Павлюткина, В.Г. Варнавского, Р.С. Климовой, А.Г. Аблаева, Т.И. Петренко, А.М. Короткого, И.Ю. Чекрыжова, посвященным диатомеям как важной стратиграфической группе миоцена и плиоцена юга Дальнего Востока и их применению в биостратиграфических и палеогеографических исследованиях.

Первая попытка выделения именно диатомовых биостратиграфических локальных зон была предпринята при изучении стратиграфического распространения диатомей в неогеновых отложениях Приморья (Пушкарь др., 1981; Пушкарь, 1983; Пушкарь, Короткий, 1985). В дальнейшем с использованием этого первого опыта был предложен новый вариант зональной диатомовой шкалы неогена (Моисеева, 1995). Свои биостратиграфические подразделения А.И. Моисеева привязала к существующей Региональной схеме неогеновых отложений Приморья (Решения..., 1982). Но предложенные В.С. Пушкарем и А.И. Моисеевой схемы не получили своего применения, поскольку за прошедшие годы с момента появления вариантов зональных диатомовых шкал Приморья произошли серьезные изменения в действующей Унифицированной региональной схеме неогеновых отложений Приморья (Решения 4-го..., 1994), а также и в таксономической классификации диатомей. Возрастные коррективы были внесены и уран-свинцовыми, калий-аргоновыми и трековыми датировками ряда кайнозойских толщ. Все это привело к пересмотру стратиграфического распространения диатомей и эволюционной этапности их развития, связанных с особенностями геологического развития региона, что и составило основное содержание работы.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В главе 2 приводится информация по фактическому материалу из различных континентальных фаций (рис. 1), рассмотрены основные процедуры выделения диатомовых комплексов и зон, отражающих эволюционные этапы в развитии диатомовой флоры, принципы выбора видов-индексов зон. Всего в отложениях неогена изучено 875 образцов из 22 разрезов и 5 скважин. В работе использована Региональная стратиграфическая схема неогеновых отложений Приморья (Решения.... 1994) с учетом последних рекомендации по ее усовершенствованию (Павлюткин, Петренко, 2010; Павлюткин и др., 2012). В настоящей работе граница между неогеновой и четвертичной системами, согласно решению Международного союза геологических наук (IUGS) 2009 г.

по представлению Международной комиссии по стратиграфии (ICS), принята на уровне 2,58 млн. лет (Ogg, Pillans, 2008; Gradstein et al., 2012).



Рис. 1. Расположение стратотипов и основных групп опорных разрезов верхнекайнозойских отложений в депрессионных структурах Приморья: 1 – стратотип новокачалинской свиты (верхняя часть нижнего миоцена – средний миоцен), 2 – гипостратотип усть-суйфунской свиты (верхний миоцен), 3 – стратотип синеутесовской свиты (нижняя часть нижнего миоцена), 4 – опорные разрезы шуфанского горизонта (верхний миоцен-плиоцен), 5 – нежинской свиты (верхняя часть нижнего миоцена)

Обработка образцов и подсчет створок диатомей, оценка частот их встречаемости (6-бальная шкала) в препаратах проводились по общепринятым методикам диатомового анализа (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Систематика диатомей дана по диатомовым базам Algaebase (<http://www.algaebase.org/>) и EDD (<http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>).

Большое внимание уделено роли геологических и биологических событий в хроностратиграфии, а также принципам стратиграфической корреляции, основанной на адекватности причин и следствий.

ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ, СОСТАВ И КОМПЛЕКСЫ ДИАТОМЕЙ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ПРИМОРЬЯ

В главе приводятся данные о местоположении изученных разрезов неогена. Для каждого из них указаны литологическая, палеоботаническая и палинологическая характеристики, приведены данные абсолютного датирования. Дается подробная характеристика выделенным комплексам диатомей и особенностям их экологических структур. Дается обоснование стратиграфической последовательности комплексов.

3.1. Неогеновая система. Неогеновые отложения на территории Приморья достаточно широко распространены и представлены различными генетическими континентальными фациями. В качестве стратиграфической основы использован вариант Региональной схемы (Решения 4-го..., 1994) с изменениями и дополнениями Б. И. Павлюткина (Павлюткин, Петренко, 2010).

3.1.2. Миоцен. Миоценовые отложения рассматриваются в объеме синеутесовского и нежинского горизонтов (нижний миоцен), новокачалинского горизонта (средний миоцен) и усть-суйфунского, не изменившего своей

стратиграфической позиции и объема (Павлюткин, Петренко, 2010). Яркой литологической чертой миоценовых отложений является обильное содержание в них пирокластического материала, связанного с фазами позднекайнозойского взрывного кислого вулканизма на юге Приморья (Максимов, Сахно, 2011).

3.1.2.1. Нижний миоцен

Синеутесовский горизонт, стратиграфический объем которого составляет одноименная свита, выделен Б. И. Павлюткиным (Павлюткин, 2008). Координаты стратотипа – 43°07′ с.ш., 131°14′ в.д. Геологический разрез составлен по естественным обнажениям (алевролиты, пески, галечники) в бассейне ручья Дозорный (Павлюткин, Петренко, 2010). Возраст базальтов, перекрывающих отложения синеутесовской свиты составляет 22±1.0 млн. лет (Попов и др., 2005).

В синеутесовской флоре ядро составляют виды родов *Actinella*, *Aulacoseira*, *Melosira* и *Tetracyclus*. В массе встречается *A. praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, очень часто – *Actinella brasiliensis*, *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeangustissima* f. *praeangustissima*, *A. praegrnulata* var. *praeangustissima* f. *curvata*, *A. praegrnulata* var. *praeislandica* f. *curvata*, *Melosira undulata* var. *undulata*. В диатомовом комплексе присутствуют три вида, являющиеся диагностическими для отложений синеутесовской свиты – *Aulacoseira canadensis*, *Miosira bifaria* и *Undatodiscus tubiformis*.

Близкий комплекс обнаружен в отложениях скв. 44. В нем также отмечается доминирование *A. praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* и курватных форм древних *Aulacoseira* группы «*prae*» и присутствие диагностических видов синеутесовской флоры диатомей (*Aulacoseira canadensis*, *Miosira bifaria*, *Undatodiscus tubiformis*).

Нежинский горизонт типизируется нежинской свитой, отложения которой с ископаемой листовой флорой прослеживаются в Пушкинской впадине. В качестве стратотипа свиты Б. И. Павлюткин указывает разрез т. 9180 севернее с. Нежино с координатами 43°29′ с.ш., 131°47′ в.д. (Павлюткин, Петренко, 2010)

В отложениях стратотипа нежинской свиты диатомовый комплекс представлен, в основном, видами родов *Aulacoseira*, *Staurosira* и *Tetracyclus*. В верхней части отложений обнаружен *Actinocyclus lobatus* – характерный вид для отложений нижнего миоцена (Диатомовые водоросли России ..., 2008).

В Павловской впадине нежинский горизонт представлен более полно. По материалам бурения (скв. 20) его мощность превышает 60 м. Разрез характеризуется чередованием туфоалевролитов, туфопесков, туфопесчаников, с прослоями маломощных лигнитовых углей.

Доминантная группа представлена планктонными *Actinella brasiliensis*, *Actinocyclus lobatus*, многими разновидностями *A. praegrnulata* и бентическими представителями рода *Tetracyclus*: *T. celatom*, *T. lacustris*, *T. ellipticus* var. *ellipticus*, *T. ellipticus* var. *clypeus*. В комплексе диатомей не обнаружены *Aulacoseira canadensis*, *Miosira bifaria* и *Undatodiscus tubiformis*, характерные только для отложений синеутесовской свиты.

В целом же, комплекс диатомей отложений нежинской свиты, характеризующийся высокой частотой встречаемости представителей субтропической *Actinella*, отвечает восходящей фазе миоценового климатического оптимума. С этим выводом согласуются и результаты абсолютного датирования трековым методом по циркону ($20,9 \pm 1,1$; $20,2 \pm 0,8$; $19,7 \pm 1,1$; $18,8 \pm 1,1$ млн. лет) (Павлюткин, Петренко, 2010).

3.1.2.2. Средний миоцен

Новокачалинский горизонт. Выделение этого стратона в составе миоценовых отложений было сделано Б. И. Павлюткиным (Павлюткин и др., 2004) на основании комплексного изучения 200-метровой пачки отложений, вскрываемой рядом естественных обнажений и скважин вдоль западного побережья оз. Ханка. Стратиграфический объем горизонта представлен одноименной свитой. Анализ диатомовой флоры позволяет выделить в новокачалинской свите два комплекса диатомей.

Нижний комплекс приурочен к нижней и средней частям разреза. Он характеризуется относительно высоким видовым разнообразием: 75 видов, принадлежащих 41 роду, при отсутствии ярко выраженных доминантов, кроме *Aulacoseira praegr anulata* var. *praegr anulata* f. *praegr anulata* и *A. praegr anulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, формирующих туфодиатомитовые слои. Впервые на этом уровне появляется *A. italica* var. *italica* f. *curvata*, новые виды рода *Actinocyclus* и, возможно, первые *Mesodictyon*. Для комплекса получена серия датировок в интервале 18,1 – 14,9 млн. лет (Павлюткин и др., 2004).

Верхний комплекс диатомей отличается от нижнего отсутствием многих субтропических диатомей (*Actinella brasiliensis*, *Cymbella australica*, *Desmogonium guianense*, *D. rabenhorstianum*), а также значительным увеличением разнообразия бентических диатомей. Второй особенностью комплекса является выпадение из него планктонной *Miosira jouseana*.

Для обоих комплексов отмечен высокий полиморфизм представителей рода *Tetracyclus*, не наблюдающийся в отложениях иного возраста, а также присутствие маркирующей только эти отложения *Aulacoseira taiganosica*, что может считаться важными признаками данных отложений.

3.1.2.3. Верхний миоцен

Усть-суйфунский горизонт. Горизонт представлен одноименной свитой, выделенной Н.А. Белявским и И.И. Берсеновым, туфогенные отложения которой ранее рассматривались в объеме суйфунской свиты, установленной В.З. Скороходом в бассейне р. Раздольная (цит. по Павлюткин и др., 1985). Из-за плохого состояния голостратотипа усть-суйфунской свиты Б.И. Павлюткиным (Павлюткин и др., 1985) был предложен гипостратотип свиты (т. 4001), расположенный в Пушкинской впадине. Заключение о позднемиоценовом возрасте гипостратотипа усть-суйфунской свиты, основанное на палеоботанических данных, согласуется с результатами радиоизотопного датирования вулканических стекол трековым методом. Полученные даты ($10,8 \pm 1,1$ и $11,8 \pm 0,9$ млн. лет) соответствуют первой половине позднего миоцена (Павлюткин и др., 1985). Аналогичные датировки для отложений усть-суйфунской свиты бассейна р. Раздольная ($11,8 \pm 1,0$;

8,0±1,1 млн. лет) приводит и А.Г. Аблаев (Аблаев и др., 1994). Полученные датировки согласуются с данными по абсолютному датированию шкотовских и шуфанских базальтов в 8–11,8 и 7–13 млн. лет соответственно (Мартынов, 1999; Рассказов и др., 2003).

Следует отметить, что полученные к настоящему времени датировки по кроющим базальтам и отложениям усть-суйфунской свиты методом U-Pb датирования по цирконам на высокоразрешающем ионном микрозонде SHRIMP значительно древнее и попадают в интервал раннего и среднего миоцена (Максимов, Сахно, 2008, 2011). Причину такого разногласия объяснить пока очень трудно.

В туфоалевролитах и песках гипостратотипа обнаружен комплекс диатомей, характеризующийся доминированием *Aulacoseira italica* var. *italica* (5-6) среди планктонных видов, а среди бентических – *Achnanthes scutiformis* (5), *Tetracyclus ellipticus* var. *ellipticus* (6). С оценками 1-3 встречаются представители планктонных родов *Actinocyclus* (*A. gorbunovii*, *A. krasskei*, *A. tunkaensis*), *Mesodictyon* (*M. fovis*), *Cyclotella* (*C. pliostelligera* = *Discostella pliostelligera* Houk et Klee, *C. minuta*), *Pseudoaulacosira* (*P. moisseeviae*). Биостратиграфическим признаком отложений усть-суйфунской свиты служит появление в них видов *Mesodictyon fovis*, *Discostella pliostelligera*, *Pseudoaulacosira moisseeviae*, *Fragilaria triangulata*.

Аналогичный комплекс диатомей описан из отложений разреза 4130, находящегося вблизи с. Тереховка – северной границы распространения отложений усть-суйфунской свиты. Близкие комплексы выделены в отложениях разрезов 4128, 9032 и 9017 сформировавшихся в тех же фациальных условиях, что и отложения разреза 4130, а также в отложениях, вскрытых скв. 28 в верховьях р. Сергеевка.

3.1.3. Плиоцен

Шуфанский горизонт. Шуфанская свита сложена чередованием слоев андезитобазальтов и туфогенно-осадочных пород, образовавшихся в озерных условиях. Мощность шуфанской свиты достигает 250 м. Непосредственно рыхлые отложения шуфанской свиты содержат спорово-пыльцевые спектры, которые отвечают плиоценовому этапу развития растительности Приморья. Именно это и послужило основанием для выделения самостоятельного шуфанского горизонта в региональной стратиграфической схеме неогена Приморья (Павлюткин, Петренко, 2010).

Наиболее полный разрез плиоцена, предлагаемый в качестве стратотипа (разрез 4131), находится в окрестностях с. Тереховка (Пушкинская впадина, координаты – 43° 20' с.ш. и 131° 52' в.д.) и непосредственно наращивает разрез 4130. Осадочная толща этого разреза известна под названием кедровская толща (Денисов, 1960).

Диагностическим возрастным критерием плиоценовых отложений является полное отсутствие характерных для усть-суйфунской диатомовой флоры видов *Mesodictyon fovis*, *Mesodictyopsis miyatanus*, *Pseudoaulacosira moisseeviae*, *Cymbella miocenica*, *Ellerbeckia kochii*, *Fragilaria miocenica* var. *miocenica*, *F. miocenica* var. *tetranodis*, *Eunotia miocenica*, *Gomphocymbella*

miocenica. На рубеже миоцен-плиоцен также отмечено первое эволюционное появление *Aulacoseira subarctica*, *Pliocaenicus costatus*, *Stephanodiscus grandis* (?), *St. hantzschii* и *St. nativus*. Хорошим маркером плиоценовых отложений служит массовая встречаемость *Miosira tscheremissinovaе*.

Установленная стратиграфическая последовательность комплексов диатомей позволяет подойти к решению одной из важнейших задач биостратиграфии – разработке региональной диатомовой шкалы неогена Южного Приморья.

ГЛАВА 4. ЗОНАЛЬНАЯ ДИАТОМОВАЯ ШКАЛА НЕОГЕНА ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

В соответствии с номенклатурой биостратиграфических подразделений и правилами их выделения *под биостратиграфической зоной понимается «совокупность слоев, которая характеризуется определенным таксоном или комплексом древних организмов (зональный комплекс), отличающимися от таковых в подстилающих и перекрывающих слоях, и имеющей нижнюю и верхнюю границы, установленные биостратиграфическим методом»* (Стратиграфический кодекс ..., 2006, стр. 38). В настоящей работе использован статус интервал-зоны, характеристика которой регламентирована как Стратиграфическим кодексом России (Стратиграфический кодекс ..., 2006), так и «Международным стратиграфическим руководством» (International Stratigraphic Guide, 1976). Согласно стратиграфическим правилам, интервал-зона – это отложения, заключенные между уровнями появления (исчезновения) каких-либо таксонов. В Международном стратиграфическом руководстве (International Stratigraphic Guide, 1976) этому виду зон соответствуют собственно Interval zone и Partial-range zone (зона частичного распространения таксона). В отношении статуса самой диатомовой шкалы необходимо отметить, что обсуждаемый в работе вариант относится к провинциальным шкалам, охватывающий, в основном, области Южного Приморья.

При выборе видов-индексов зон авторы основывались на:

- их достаточно обширном географическом ареале;
- их распространении в различных континентальных фациях;
- наличию изотопно или косвенно датированных (привязка к палеомагнитной шкале) уровней появления или исчезновения видов диатомей.

4.1. Эволюционная этапность развития диатомей в неогене Приморья

4.1.1. Общая планетарная эволюция диатомовой флоры

В настоящее время общая планетарная эволюция диатомовой флоры достаточно хорошо известна. Г.К. Хурсевич (2007), была первой, кто попытался представить общую сравнительную схему кайнозойской биохронологии пресноводных центрических диатомей Америки, Европы и Азии с учетом новейших данных по современной систематике центрических диатомей. Кроме этого, она связала эволюционные рубежи с глобальными климатическими изменениями, что послужило основой для разработки региональной диатомовой шкалы Приморья.

4.1.2. Особенности эволюции диатомовой флоры в неогене Приморья

Анализ стратиграфического распределения диатомей дает основание выделить конкретные эволюционные этапы развития диатомовой флоры. Они обусловлены глобальными климатическими изменениями этого времени, осложненными региональным Восточно-Азиатским муссоном, связанным с гималайским тектогенезом, а также воздействием поверхностных течений Японского моря. Это наложило отпечаток на весь облик приморской неогеновой флоры диатомей, отличающейся высоким эндемизмом.

Если для ранних этапов миоцена облик диатомовой флоры был довольно однообразным, представленный, в основном, доминированием центрических *Aulacoseira* и пеннатных *Tetracyclus*, *Fragilaria*, *Eunotia* и *Actinella*, то уже в среднем миоцене отмечается высокое родовое разнообразие как центрических, так и пеннатных диатомей. В эволюционном отношении происходит совершенствование ультраструктуры панцирей диатомей. Главными особенностями эволюции диатомей Приморья являются:

- высокая степень эндемизма;
- невысокая частота встречаемости представителей рода *Actinocyclus*;
- отсутствие (пока не найдены?) таких родов как *Lobodiscus*, *Thalassiosira*, *Puncticulata*, *Tertiariopsis*, *Tertiarius*, *Staphanopsis*, *Ectodictyon*, *Thlassiobekia*;
- полиморфизм видов родов *Tetracyclus*, *Fragilaria*, *Fragilariforma*, *Achnanthes*, *Planotidium*, *Eunotia*, *Melosira* и *Aulacoseira*, приведший к описанию многих неогеновых вымерших таксонов, придающих также высокую степень эндемизма диатомовой флоре Приморья;

На основе установленных в неогене стратиграфических комплексов диатомей выделено четыре эволюционных этапа развития диатомей.

I. Раннемиоценовый этап характеризуется интенсивным развитием не только родов *Aulacoseira*, *Miosira* и *Ellerbeckia*, но и *Undatodiscus*, *Melosira*. Этот рубеж ознаменовался появлением новых видов родов *Actinocyclus* и *Miosira*. Общий облик флоры, несмотря на относительно высокое родовое богатство (22 рода), формируется видами трех родов – *Aulacoseira*, *Tetracyclus* и *Actinella*. Флору этого этапа можно назвать как флора *Aulacoseira* – *Tetracyclus*.

II. Среднемиоценовый этап ознаменовался появлением новых представителей рода *Actinocyclus*, а также первым появлением видов рода *Mesodictyon*, *Cyclotella* и, возможно, *Mesodictyopsis*. На этом этапе полностью исчезают представители *Undatodiscus*. Значительно увеличивается видовое богатство бентических родов *Achnanthes*, *Fragilaria*, *Fragilariforma*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Eunotia*, *Encyonema*. Начиная с рубежа ранний-средний миоцен представители родов *Actinella* и *Desmogonium* уже больше не играют роль доминантов. Для среднего миоцена характерны высокие темпы видообразования.

III. Позднемиоценовый этап. Для этого этапа характерно развитие представителей рода *Actinocyclus* (*Actinocyclus gorbunovii*, *A. krasskei*, *A. tunkaensis*), *Mesodictyopsis*, *Mesodictyon*, а также и эволюционное появление рода *Pseudoaulacosira*. Среди бентических диатомей происходит дальнейшее обогащение родов *Achnanthes*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Tetracyclus*, *Diatoma*,

Gomphocymbella. Обедняется своими видами род *Aulacoseira*, а из рода *Miosira* продолжает существовать только *Miosira tscheremissinovae*. Если на первом этапе отмечается до 65% вымерших видов и разновидностей, то позднемиоценовая флора содержит до 25% вымерших таксонов.

IV. **Плиоценовый этап** характеризуется вымиранием многих неогеновых представителей (вымерших видов остается всего около 10%), среди которых выделяется явный доминант *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*. На этом рубеже отмечается явное преобладание пеннатных представителей над центрическими. Важной чертой плиоценового этапа служит развитие представителей родов *Pliocaenicus* и *Stephanodiscus*. Эволюция диатомей в плиоцене происходила, в основном, на видовом и внутривидовом уровне по типу адаптивной радиации с фенотипическим отбором, что отмечено и для плиоценового этапа развития диатомей о. Байкал (Хурсевич, 2007).

4.2. Зональная диатомовая шкала неогена Южного Приморья

На основании стратиграфического распространения видов в неогеновых отложениях и общей этапности их развития выделено семь диатомовых зон (рис. 2). При выборе зональных признаков, соответствующих конкретным эволюционным этапам, предпочтение было отдано родам *Miosira*, *Pseudoaulacosira*, *Tetracyclus*, *Ellerbeckia*, *Undatodiscus* и *Aulacoseira*, которые хорошо прослеживаются как в озерных, так и речных фациях. Хорошими дополнительными стратиграфическими маркерами являются планктонные представители родов *Actinocyclus*, *Mesodictyon*, *Cyclotella*, *Pliocaenicus*, *Stephanodiscus*, но их частота встречаемости в аллювиальных фациях гораздо ниже. Среди бентических диатомей наибольший стратиграфический вес имеют роды *Achnanthes*, *Eunotia*, *Actinella*, *Fragilaria*, *Cymbella*, *Gomphocymbella*, *Fragilariforma* и *Sellaphora*.

Зона *Miosira bifaria* (синеутесовская свита, нижняя часть нижнего миоцена; абсолютный возраст зоны 23,03-20,9 млн. лет).

Стратотип зоны: т. 9200, голостратотип синеутесовской свиты.

Критерии границ: нижняя граница установлена по первому появлению *Actinocyclus lobatus*, верхняя – по исчезновению *Miosira bifaria*.

Комплекс диатомей: комплекс характеризуется высокой частотой встречаемости древних грубопанцирных *Aulacoseira* с их вариантами и формами, особенно форма *curvata*. Диагностическими видами отложений зоны являются *Aulacoseira canadensis*, *Miosira bifaria* и *Undatodiscus tubiformis*.

Корреляция (здесь и далее рис.3): комплекс диатомей нижнемиоценовых отложений возвышенности Ямато (Цой, Шастина, 1999; Usoltseva, Tsoy, 2011); комплекс диатомей шестаковской толщи Пенжинской губы (Моисеева, Невретдинова, 1990); комплекс диатомей из отложений абросимовской свиты нижнего миоцена Западной Сибири (Хурсевич, Рубина, 1991).

Зона *Actinocyclus lobatus* (нежинская свита, верхняя часть нижнего миоцена; 20,09-18,1 млн. лет.).

Стратотип зоны: т. 9180, голостратотип нежинской свиты.

Критерии границ: нижняя граница проведена по исчезновению *Miosira bifaria*, верхняя – по вымиранию вида-индекса зоны и первому появлению

видов *Actinocyclus tunkaensis* и *Miosira tscheremissinovae*.

Комплекс диатомей: доминирующее положение занимают планктонные *Actinella brasiliensis*, *Actinocyclus lobatus*, *Aulacoseira praegrانulata* var. *praegrانulata* f. *praegrانulata*, *A. praegrانulata* var. *praegrانulata* f. *curvata*, *A. praegrانulata* var. *praeangustissima* f. *curvata*, *A. praegrانulata* var. *praeislandica* f. *curvata*, *A. praegrانulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*. Среди бентических видов доминируют *Staurosira construens* и представители рода *Tetracyclus*: *T. celatom*, *T. lacustris*, *T. ellipticus* var. *ellipticus*, *T. ellipticus* var. *clypeus*.

Корреляция: коррелируется с комплексом диатомей с *Actinocyclus lobatus* и *Undatodiscus tubiformis* из отложений абросимовской свиты нижнего миоцена Западной Сибири (Хурсевич, Рубина, 1991).

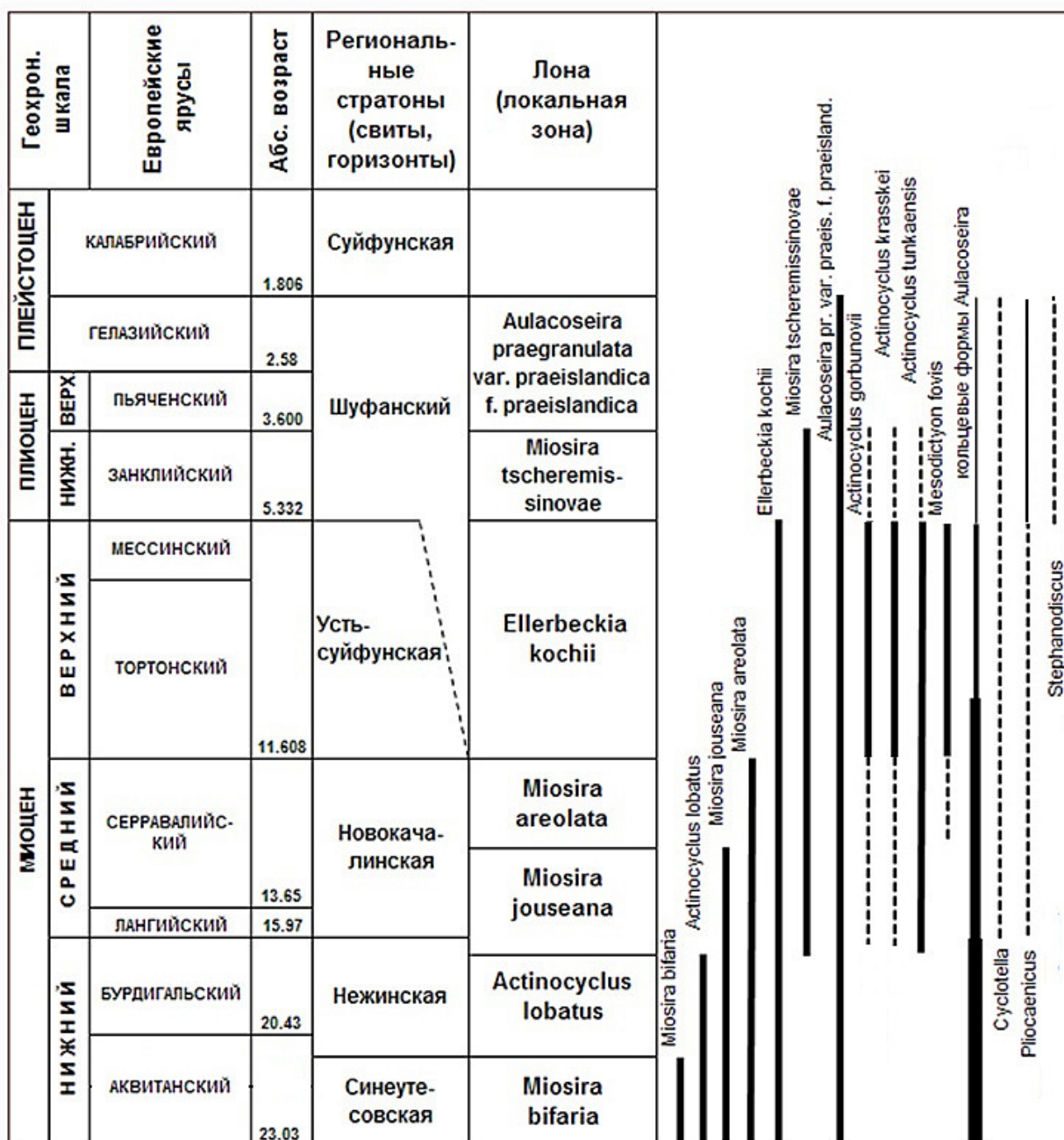


Рис. 2. Зональная диатомовая шкала неогена Южного Приморья (региональные стратоны даны по Решению 4-го ..., 1994 с изменениями Б.И. Павлюткина и Т.И. Петренко, 2010)

Зона *Miosira jouseana* (нижняя часть новокачалинской свиты, самая верхняя часть нижнего миоцена – нижняя часть среднего миоцена; 18,1-14,9 млн. лет.).

Стратотип зоны: т.т. 9146-9149, слои 5-25 голостратотипа новокачалинской свиты.

Критерии границ: нижняя граница связана с исчезновением *Actinocyclus lobatus* и первым появлением в отложениях *Actinocyclus tunkaensis*, *Miosira tscheremissinovaе* и *Aulacoseira taiganosica*. С нижней границей связано и заметное снижение частоты встречаемости курватных форм *Aulacoseira*. Верхняя граница проводится по исчезновению вида-индекса и первому появлению *Mesodictyon fovis*.

Комплекс диатомей: характерный комплекс представляют *Actinella brasiliensis*, *Aulacoseira praegrانulata* var. *praegrانulata* f. *praegrانulata*, *A. praegrانulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, *Ellerbeckia arenaria* var. *teres*, *Fragilariforma bicapitata*, *Fragilaria miocenica* var. *miocenica*, *Gomphonema miocenica*, *Melosira undulata* var. *undulata*, *Miosira jouseana*, *M. areolata*, *Staurosira construens*, *S. venter*, *S. elliptica*, *Tetracyclus lacustris* var. *elongatus*. Для *Melosira undulata* характерен высокий полиморфизм створок.

Корреляция: коррелируется с диатомовыми экозонами 1-2 нижней части среднемиоценовой формации Shanwang провинции Шандонь Восточного Китая (Li et al., 2010); нижняя часть верхнеджилиндинской подсвиты (Витимское плоскогорье западной части Забайкалья) с высокой частотой встречаемости *Miosira jouseana* (Khursevich, 1994; Черняева и др., 2007); комплекс диатомей анаргинской свиты (?) Чарской впадины Северного Забайкалья (Еникеев, 2008).

Зона *Miosira areolata* (верхняя часть новокачалинской свиты, верхняя часть среднего миоцена; 14,9-11,6 млн. лет.).

Стратотип зоны: т.т. 9150-9153, слои 26-30 голостратотипа новокачалинской свиты.

Критерии границ: нижняя граница связана с исчезновением *Miosira jouseana* и первым появлением *Mesodictyon fovis*, верхняя граница зоны определяется по вымиранию вида-индекса зоны.

Комплекс диатомей: характеризуется доминированием *Aulacoseira praegrانulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*. Заметное участие в комплексе принадлежит *Melosira undulata*, *A. taiganosica*, *Miosira areolata*, *Planothidium lanceolatum*, *Tetracyclus clypeus*, *T. lacustris*, *T. ellipticus* var. *lancea* f. *lata*, *Tabellaria fragilariodes*.

Корреляция: коррелируется с диатомовыми экозонами 3-5 верхней части среднемиоценовой формации Shanwang провинции Шандонь Восточного Китая (Li et al., 2010); нижняя часть (?) верхнеджилиндинской подсвиты (Западное Забайкалье) (Khursevich, 1994; Черняева и др., 2007); комплекс диатомей анаргинской свиты (?) Чарской впадины Северного Забайкалья (Еникеев, 2008).

Зона *Ellerbeckia kochii* (усть-суйфунская свита, верхний миоцен; 11,6-5,3 млн. лет.).

Стратотип зоны – т. 4001, гипостратотип усть-суйфунской свиты, верхний миоцен.

Критерии границ: нижняя граница установлена по исчезновению *Miosira areolata* и по первому появлению родов *Mesodictyon* и *Mesodictyopsis*, а также по развитию видов рода *Actinocyclus* (*A. krasskei*, *A. gorbunovii*). Верхняя граница проводится по исчезновению вида-индекса и по практически полному исчезновению родов *Actinocyclus*, *Mesodictyon* и *Mesodictyopsis*.

Комплекс диатомей: *Achnanthes scutiformis*, *A. lapidosa* f. *robusta*, *Actinocyclus gorbunovii*, *A. krasskei*, *A. tunkaensis*, *Aulacoseira italica* var. *italica*, *Tetracyclus ellipticus* var. *ellipticus*, *T. ellipticus* var. *lancea*, *Mesodictyon foveis*, *Mesodictyopsis miyatanus*, *Miosira tscheremissinovae*, *Cyclotella minuta*, *C. pliostelligera*, *Pseudoaulacosira moisseeviae*, *Ellerbeckia kochii*, *Tetracyclus ellipticus* var. *ellipticus*, *T. ellipticus* var. *lancea*, *Fragilaria bicapitata* var. *lineolata*, *F. nitzschoides* var. *kamtschatica*, *F. miocenica* var. *tetranodis*, *Eunotia majuscula*, *Gomphonema miocenica*, *Pliocaenicus costatus*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. nativus*, *Symbella lanceolata* var. *grandipunctata*.

Корреляция: эрмановская свита Западной Камчатки (Лупикина, Хурсевич, 1991а; Диатомовые водоросли ..., 2008); диатомовый комплекс 1 отложений Пенжинской структурно-формационной зоны Камчатки (Озорнина, 2002); формации Miyata и Mitoku верхнего миоцена Японии (Huzioka, Uemura, 1973; Houk, Klee, 2004; Houk et al., 2010; Tanaka, Naguno, 1998, 2002, 2006); слои Naruki (о. Хонсю, Япония) группы Teragi (Tanaka, Kobayasi, 1996); верхняя часть верхнеджилиндинской подсвиты Западного Забайкалья (Khursevich, 1994; Черняева и др., 2007; Usoltseva et al., 2010); танхойская свита Тункинской котловины (Khursevich, 1994); верхнемиоценовые отложения оз. Байкал (Khursevich et al., 2004; Khursevich, 2006).

Зона *Miosira tscheremissinovae* (средняя часть шуфанского горизонта, нижний плиоцен; 5,3-3,6 млн. лет)

Стратотип зоны: – т. 4131, опорный разрез плиоцена (нижняя часть кедровской толщи).

Критерии границ: нижняя граница установлена по исчезновению *Mesodictyon foveis*, *Pseudoaulacosira moisseeviae*, *Ellerbeckia kochii*, *Fragilaria miocenica* var. *tetranodis* и первому появлению *Pliocaenicus costatus*, *Stephanodiscus hantzschii* и *St. nativus*.

Комплекс диатомей: доминантными в комплексе являются *Aulacoseira italica* var. *italica*, *A. praegrnulata* var. *praegrnulata* f. *praegrnulata*, *A. praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, *Miosira tscheremissinovae*, *Ellerbeckia arenaria* var. *teres*, *Miosira tscheremissinovae*. Среди бентических диатомей отмечается высокая частота встречаемости *Melosira undulata* var. *undulata*.

Корреляция: формация Utskushigahara нижнего плиоцена (о. Хонсю, Япония) (Tanaka, Kobayasi, 1996); нижнеплиоценовые отложения оз. Байкал с зонами по видам родов *Mesodictyopsis*, *Cyclotella* (группа “iris”), *Tertiariopsis* и *Stephanopsis* (Khursevich, 2006; Кузьмин и др., 2009); диатомовый комплекс 2 отложений Пенжинской структурно-формационной зоны Камчатки (Озорнина, 2002); комплекс диатомей тырынтайской свиты Чарской впадины Северного Забайкалья (Еникеев, 2008).

Зона *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (верхняя часть шуфанского горизонта, верхний плиоцен; 3,6-1,8 млн. лет.).

Стратотип зоны: т. 4131, опорный разрез плиоцена (верхняя часть кедровской толщи).

Критерии границ: нижняя граница связана с практически полным исчезновением *Cymbella lanceolata* var. *grandipunctata*, *Miosira tscheremissinovae*, *Achnanthes exigua* var. *heterovalvata*.

Комплекс диатомей: доминантная группа представлена планктонными *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, *Ellerbeckia arenaria* var. *teres* и бентическими диатомеями *Melosira undulata*, *Fragilariforma bicapitata* var. *bicapitata*, *Frustulia rhomboides*, *Pinnularia borealis*, *Staurosira construens* et vars., *T. ellipticus* var. *lancea* f. *lancea*.

Корреляция: диатомовый комплекс 3 с высокой частотой встречаемости *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* отложений Пенжинской структурно-формационной зоны (Озорнина, 2002); комплекс диатомей люксюгунской свиты Чарской впадины Северного Забайкалья (Еникеев, 2008); зоны диатомей по видам родов *Stephanopsis*, *Tertiarius* и *Stephanodiscus* отложений о. Байкал (Khursevich, 2006; Кузьмин и др., 2009).

ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ ПОЗДНЕГО КАЙНОЗОЯ ЮГА ПРИМОРЬЯ

Как показал В.А. Красилов (1977), смена биофоссилий в последовательных слоях осадочной толщи служит единственным прямым доказательством реальности биологической эволюции и основным источником представлений о взаимосвязанных биотических и абиотических событиях геологического прошлого. Среди всех факторов, влияющих на облик ископаемых сообществ, их стратиграфическую упорядоченность в отложениях и несущих информацию о самих этих факторах, следует назвать, в первую очередь, тектогенез, включающий эволюцию вулканизма, и климат (Красилов и др., 1985; Баскакова, 2006).

5.1. Тектогенез

Связь между климатом и тектогенезом вполне очевидна и подтверждается многочисленными геологическими документами. По крайней мере, три важнейших геологических события наложили отпечатки на развитие и формирование климата Приморья, находящегося в зоне сочленения Евразийского континента и Тихого океана:

– гималайский тектогенез и формирование Тибетского плато, приведшие к существенным изменениям климатической характеристики востока Азии в целом и Приморья в частности;

– раскрытие и формирование Япономорской впадины, итогом которых стало возникновение систем холодных и теплых течений, также сказавшихся на климатических характеристиках Приморья;

– формирование Сихотэ-Алиньской горной геосистемы, приведшее к возникновению крупнопорядковых рек и пестроте континентальных фаций.

Последствия этих геологических событий выразились, прежде всего, в

изменениях топографического контраста и контраста в атмосферном прогреве окраины континента и океана, что, в свою очередь, стало причиной зарождения и передвижения большинства атмосферных тепловых потоков Восточной Азии и Запада Тихого океана, в том числе и Восточно-Азиатского муссона.

Зарождение Гималайской горной системы началось около 50 млн. лет назад. В ее развитии отмечен ряд фаз тектонической активности, одна из которых совпадает с поздним эоценом (36 млн.л.н.), другая – с плиоценом (3,6 млн.л.н.). К концу раннего миоцена Гималаи уже имели высоту более 4 тысяч метров, что было достаточным фактором для формирования специфики климата окраины Евразийского континента (Wang et al., 2003). Именно в это время Приморье начинает подвергаться воздействию муссонного климата. При этом зимний муссон (Восточно-Сибирский антициклон) постепенно становится доминирующим на протяжении позднего кайнозоя.

Другим региональным фактором, влияющим на климатические характеристики Приморья, стало формирование Японского моря. Ряд исследователей сходятся в своем мнении о том, что к концу раннего миоцена Японское море уже приобрело современную геометрию и топографию (Wang, 1999; Цой, Шастина, 1999; Карнаух и др., 2007; Павлюткин, Голозубов, 2010).

С формированием Японского моря связано возникновение систем поверхностных холодных и теплых течений, влияющих на климат континентальной окраины и Японии.

Немаловажное значение в формировании фациального облика диатомовых комплексов неогена Приморья сыграло и тектоническое развитие Сихотэ-Алиня. Уже к началу позднего миоцена была сформирована эта горная область с развитием речной сети высоких порядков (Баскакова, 2006; Павлюткин, Петренко, 2010). Происходит и быстрая смена озерных фаций аллювиальными, что отражено в биофациальных структурах комплексов (доминирование бентических видов с высокой частотой встречаемости типичных реофилов).

5.2. Вулканизм

Установлено, что развитие и обилие диатомей, имеющих кремневый панцирь, прямо связано с наличием в среде обитания “строительного материала” – кремния и его соединений (Диатомовые водоросли ..., 1974). Поэтому вулканические процессы в позднем кайнозое Приморья при всех других положительных экологических факторах среды, несомненно, сыграли свою роль в развитии диатомовой флоры.

Для позднего миоцена и плиоцена характерен эффузивный платобазальтовый вулканизм, носивший многоареальный характер трещинного характера. По крайней мере, две эпохи формирования диатомитовых толщ связаны с этими этапами. Одна из них относится к синеутесовскому и нежинскому времени, другая – к шуфанскому. По всей вероятности, высокая палеопродуктивность диатомей ($17-24 \cdot 10^7$ створок \cdot см⁻² \cdot кур⁻¹), отраженная в этих толщах и вполне достаточная для формирования биогенных отложений, связана с этими вулканическими фазами, поставлявшими кислый пирокластический материал в бассейны осадконакопления.

5.3. Климат

Региональный климат, подчиняясь глобальным климатическим изменениям, несет в себе и черты региональных воздействий (тектогенез и вулканизм). Начиная с 36 млн. лет на глобальный климат планеты сильнейшее влияние стала оказывать экспансия ледниковой шапки Антарктиды, что ярко выразилось в дальнейшей *тенденции направленного похолодания в позднем кайнозое, прерываемом циклическими потеплениями*. С ранним миоценом связано также зарождение и развитие Восточно-Азиатского муссона, что накладывало свой региональный отпечаток на климатические характеристики Востока Азии (Wang et al., 2003).

Серия глобальных потеплений и похолоданий, периодичность которых в позднем кайнозое сокращается, есть свидетельство постепенного перехода планеты из режима “greenhouse” (теплый дом) в режим “icehouse” (холодный дом).

По крайней мере, две эпохи потепления зафиксированы в раннем и среднем миоцене. Одна из них охватывает период от 24 до 22,8 млн.л., другая (миоценовый климатический оптимум) приходится на границу между ранним и средним миоценом (17,7-14 млн.л.). Разделяющая их эпоха похолодания, не была таковой в привычном смысле слова. Климатический оптимум миоцена в Приморье был сглажен действием Восточно-Азиатского антициклона и действием Приморского холодного течения (Павлюткин и др., 2004; Павлюткин, Голозубов, 2010). Что же касается муссонного воздействия, то для раннего и начала среднего миоцена сезонность не была ярко выражена, даже в период похолодания (22,8-17,7 млн.л.). Только с наступившим похолоданием после миоценового оптимума сезонность стала приобретать контрастные черты на фоне усиливающегося зимнего муссона, что отражено как в спорово-пыльцевых спектрах, так и в диатомовых комплексах отложений новокачалинской свиты.

Вторая половина среднего миоцена и поздний миоцен характеризуются направленным похолоданием, связанным с резким расширением южной полярной шапки (14,1-13,2 млн.л.), особенно ярко это похолодание проявилось в середине первой половины позднего миоцена. В целом же, поздний миоцен в Приморье характеризовался относительно “теплой” первой половиной и значительным ухудшением климатических характеристик во второй.

Ранний плиоцен ознаменовался кратковременным, но достаточно выраженным потеплением и сглаживанием контрастов между зимним и летним муссонами за счет падения интенсивности и продолжительности первого (Короткий и др., 1996).

Вторая половина плиоцена, начиная с 3,6 млн. л., характеризуется интенсивным и мощным похолоданием, приведшим к формированию второй полярной шапки (Арктика). Это похолодание имело весьма серьезные последствия, выраженные в вымирании многих представителей фауны и флоры, в том числе и в пределах Восточной Азии (Лаврушин, Алексеев, 1993; Короткий и др., 1996; Пушкарь, Черепанова, 2001; Баскакова, 2006).

5.4. Биологические события и их связь с геологическими

Как уже было отмечено, геологические события, как внешние сигналы, привели к изменениям состояний экосистем разных уровней. Диатомеи, как важнейший элемент автотрофного уровня в пищевых цепях, всецело реагировали на такие сигналы. Обнаруженная связь между геологическими событиями и биотическими показана на рис. 4.

Для первой половины раннего миоцена характерна относительная стабильность таксономического состава и экологической структуры комплексов диатомей, а также доминирование планктонных диатомей. Это свидетельствует о широком развитии озерных бассейнов осадконакопления. Высокая частота встречаемости (4-5) субтропических и тропических видов – признак достаточно высоких среднегодовых температур поверхностных вод.

Отсутствие резкого контраста между летним и зимним муссонами, более длительная продолжительность летнего, способствовали развитию диатомей. Немаловажное значение для их развития, как фотосинтетиков, и высокой палеопродуктивности способствовало высокое содержание CO₂ в атмосфере планеты (Wang et al., 2003). Палеопродуктивность диатомей в это время достигала $17,22 \cdot 10^7$ створок \cdot см⁻² \cdot кур⁻¹, что вполне было достаточным для формирования диатомитовых толщ.

В конце раннего миоцена комплексы диатомей становятся богаче и разнообразнее. Они характеризуются высокой частотой встречаемости субтропических видов (в сумме до 58%), что отражает восходящую фазу миоценового климатического оптимума.

Отложения среднего миоцена представлены комплексами диатомей двух зон. Оптимальным условиям миоцена соответствует комплекс диатомовой зоны *Miosira jouseana*, выделенный в нижней части новокачалинской свиты. Но содержание тепловодных диатомей ниже, чем в синеутесовском комплексе, и составляет 34-37%, что явно свидетельствует о влиянии на оптимальные условия охлаждающего действия Приморского течения.

Комплекс зоны *Miosira areolata*, теряет тепловодных представителей. Для него характерно значительное увеличение разнообразия и частот встречаемости бентических бореальных диатомей, особенно родов *Tetracyclus*, *Staurosira*, *Planothidium* – типичных реофильных форм. Комплекс отражает начальную фазу перехода от озерного седиментогенеза к аллювиальному при нарастающем похолодании. Достаточно резкие климатические изменения второй половины среднего миоцена, сказались на росте видового богатства и привели к снижению палеопродуктивности диатомей (нижний комплекс – $21,11 \cdot 10^7$ створок \cdot см⁻² \cdot кур⁻¹, верхний – $14,98 \cdot 10^7$ створок \cdot см⁻² \cdot кур⁻¹).

В позднем миоцене происходит коренная перестройка экологических структур в комплексах диатомей. Частота встречаемости и видовое богатство бентических диатомей возрастают, тогда как эти же характеристики для центрических диатомей резко снижены. С этого времени в Приморье аллювиальный седиментогенез преобладает над озерным. Высокое участие в диатомовых комплексах бореальных элементов (до 70-80%) – признак направленного похолодания.

Региональные стратоны (свиты, горизонты)		Локальная зона	Абиотические события			Биотические события		Биотические события (диагомеи)		
			Тектогенез	Вулканизм	Климат	Фациальный режим	Эволюционные этапы	Палеоэкологические структуры комплексов		
Суйфунская	Шуфанский	Aulacoseira praegranulata var. praeislandica f. praeislandica	II фаза гималайской тектонической активности, интенсификация подъема Тибетского плато	Эфузивный плато-базальтовый вулканизм	← Чередование "теплых" и холодных эпох на фоне направленного похолодания	Усиление контраста между летним и зимним сезонами. Переход климатического режима в "icehouse"	Преобразование озерных фацис	Формирование толщ диатомитов	IV этап Высокие температуры адаптивной радиации с фенотипическим отбором. Высокие температуры видообразования	Перестройка экологических структур комплексов при резких палеоклиматических изменениях. Доминирование аркто- и северо-бореального элементов
Усть-суйфунская	Верхний	Ellerbeckia kochii	Формирование Сихотлинской геосистемы современного облика, возникновение и развитие речных систем высоких порядков			Преобразование озерных фацис	Формирование толщ диатомитов	III этап Развитие представителей родов <i>Actinocyclus</i> , <i>Mesodictyopsis</i> , <i>Mesodictyon</i>	Стабилизация экологических структур комплексов диатомей с ростом частоты встречаемости бентических аркто- и северо-бореального элементов в условиях направленного похолодания.	
										Потепление
Новокачалинская	Средний	Miosira areolata				Отсутствие выраженной сезонной контрастности	Формирование толщ диатомитов	II этап Первое появление видов родов <i>Actinocyclus</i> , <i>Mesodictyon</i> и <i>Mesodictyopsis</i> . Высокие температуры видообразования, особенно пелляльных форм	Доминирование планктонных диатомей с ярко выраженным доминированием и субтропическим элементом	
										Похолодание
Нежинская	Нижний	Actinocyclus lobatus	Завершение I фазы гималайской тектонической активности, раскрытие Японского моря					I этап Флора <i>Aulacoseira</i> - <i>Tetracyclus</i>		
										Умеренный, влажный
Синеутесовская		Miosira bifaria								

Рис. 4. Сопряженность геологических и биологических событий неогена Приморья

Начиная с 3,6 млн.л., когда были уже сформированы вторая полярная шапка и Тибетское плато, сыгравшие большую роль в эволюции климата Восточной Азии (Wang et al., 2003), началась ледниковая эпоха Земли. В Приморье устанавливается режим стабильного доминирования зимнего муссона над летним, при этом его сезонная продолжительность более длительна, чем летнего. Диатомеи этого времени также претерпели большие преобразования. Если в раннем плиоцене Приморья насчитывалось 49 родов, включающих 205 видов и внутривидовых таксонов, то к этому рубежу осталось 40 родов и 159 видов и внутривидовых таксонов. Приспосабливаясь к холодным условиям, используя свои фенотипические возможности, диатомеи в эволюционном плане развивались по типу адаптивной радиации с фенотипическим отбором.

ВЫВОДЫ

Проведенные многолетние исследования позволили на основе диатомового анализа получить новые данные по стратиграфии и реконструкции условий формирования неогеновых отложений южной части Приморья. Основные результаты работы сводятся к следующим положениям.

1. На основании изучения стратиграфического распространения диатомовых водорослей в различных континентальных фациях неогена южной части Приморья установлено 9 последовательно сменяющихся комплексов диатомей. Всего в соответствии с новейшими изменениями в систематике диатомей определено 255 видов и внутривидовых разновидностей, принадлежащих к 56 родам. Диатомеи характеризуются не только высоким видовым богатством и разнообразием, но и хорошей сохранностью в осадках, что делает их достаточно информативной группой в биостратиграфическом и палеоэкологическом отношении.

2. Анализ филогенетической сукцессии диатомей, реконструированной, в основном, по изменению видового разнообразия, появлению и исчезновению родов и видов в отложениях стратотипов региональных свит и горизонтов, позволил выделить 4 эволюционных этапа развития диатомовой флоры.

3. На основании выявленной этапности развития диатомей, уровней эволюционного появления и исчезновения таксонов предложена региональная зональная шкала неогена Приморья по диатомеям. В качестве видов индексов зон выбраны те вымершие виды, которые по своей экологической толерантности встречаются в различных фациях. Всего в неогене выделено 7 зон, границам которых дано стратиграфическое обоснование, а также указаны их стратотипы.

4. Установлены эндемические черты неогеновой диатомовой флоры Приморья, выраженные, в основном, в отсутствии в ее составе представителей некоторых родов центральных диатомей (*Actinostephanos*, *Ectodictyon*, *Lobodiscus*, *Stephanopsis*, *Thalassiosira*, *Tertiariopsis*, *Tertiarius* и др.), что характерно для неогеновых отложений Сибири, Байкала и Забайкалья, а также в высокой частоте встречаемости тропических и субтропических представителей родов *Actinella* и *Desmogonium*, что не свойственно районам Сибири, Байкала и

Забайкалья. Эндемизм неогеновой флоры обусловлен самим географическим расположением Приморья и особенностями формирования его муссонного климата.

5. Установлено, что на формирование диатомовой флоры неогена Приморья сильнейшее воздействие оказали палеоклиматические изменения с ярко выраженной тенденцией прогрессирующего похолодания. При этом глобальная ритмика была осложнена такими региональными факторами как Восточно-Азиатский муссон, который контролировался гималайским тектогенезом, включавшим и подъем Тибетского плато, а также раскрытием Японского моря и формированием в нем системы холодных и теплых течений.

6. В седиментогенезе неогеновых отложений Приморья отмечено две фазы. Первая – ранний-средний миоцен – характеризуется преобладанием озерных фаций, что свидетельствует о широком развитии в Приморье озерных неглубоких бассейнов. Вторая фаза, проявившаяся в позднем миоцене, характеризуется доминированием аллювиальных фаций, что отражено в развитии и высокой частоте встречаемости бентических пеннатных диатомей, в том числе и реофилов. В это время происходит формирование крупных водотоков высоких порядков с достаточно широкими долинами и изменение общего плана гидрографической сети Приморья.

Список основных опубликованных работ по теме диссертации:

1. **Лихачева О.Ю.**, Пушкарь В.С., Черепанова М.В., Павлюткин Б.И. Зональная диатомовая шкала и основные геобиологические события неогена Приморья // Вестник ДВО РАН. 2009. №4. С. 64-72.

2. Пушкарь В.С., Черепанова М.В., **Лихачева О.Ю.** Совершенствование зональной диатомовой шкалы плиоцена и квартера Северной Пацифики // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 5. С. 52-66.

3. Pushkar V. S., Alekseev G. V., Cherepanova M.V., **Likhacheva O. Yu.**, Soboleva O. V., Tereshko D. A. Methods of inverse modelling in the problem of reconstructing global sea-level changes for the past 30 ky. // MATERIALS OF 2ND PLENARY MEETING AND FIELD TRIP OF PROJECT IGDCP-521 BLACK SEA-MEDITERRANEAN CORRIDOR DURING THE LAST 30 KY: SEA LEVEL CHANGE AND HUMAN ADAPTATION (2005-2009) AUGUST 20-28, 2006. P. 7-9.

4. **Likhacheva O. Yu.**, Pushkar V. S., Cherepanova M. V. The Neogen diatom zonal scale of southern Far East Asia. // The 19th International Diatoms Symposium: Abstracts (Listvyanka, 28 August – 2 September, 2006). стр. 89.

5. **Лихачева О. Ю.**, Черепанова М. В., Пушкарь В. С. Принципы построения зональной диатомовой шкалы континентального неогена Приморья. // Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей: Материалы X Международной научной конференции диатомологов стран СНГ, Минск, 9-14 сентября 2007. стр. 199-201.

6. Пушкарь В. С., **Лихачева О. Ю.** Ханкайская диатомовая флора Приморья и ее положение в региональной стратиграфической схеме неогена. // Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития

диатомовых водорослей: Материалы X Международной научной конференции диатомологов стран СНГ, Минск, 9-14 сентября 2007. стр. 215-218.

7. **Лихачева О. Ю.** Зональная диатомовая шкала как отражение коэволюции биологических и геологических событий неогена Приморья (юг Дальнего Востока России). // Стрoение литосферы и геодинамика: Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 21-26 апреля 2009 г. С. 98-99.

8. Пушкарь В. С., **Лихачева О. Ю.**, Черепанова М. В. Диатомовая характеристика и зональная шкала неогеновых отложений Приморья (Дальний Восток России) // 200 лет отечественной палеонтологии: материалы всероссийского совещания, Москва, 20-22 октября 2009 г. С. 115.

9. Usoltseva M., **Likhacheva O.**, Dubrovina Y., Pushkar V., Elbakidze E. Valve ultrastructure of dominant species (Bacillariophyta) from Middle Miocene Novokachalinskaya suite (Primorye) // Abstracts of the 5th Central European Diatom Meeting, 24-27 March 2011, Szczecin, Poland. – P. 57

10. **Лихачева О. Ю.** Эволюционная этапность развития диатомей в неогене Приморья и факторы ее обусловившие // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия. Материалы XII междунар. науч. конф. Диатомологов, Москва, 19-24 сентября 2011г. С. 240-242.

11. Усольцева М. В., Пушкарь В. С., **Лихачева О. Ю.**, Рассказов С. В. Доминирующие виды диатомовых водорослей из миоценовых отложений Забайкалья и Приморья // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия. Материалы XII междунар. науч. конф. Диатомологов, Москва, 19-24 сентября 2011г. С. 50-52.

12. **Лихачева О. Ю.** Зональная диатомовая шкала как отражение коэволюции биологических и геологических событий неогена Приморья (юг Дальнего Востока России) // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам V науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. / отв. ред. Е.Н. Батурин; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – Т.1. С. 133-136.

13. **Лихачева О. Ю.** Диатомовые водоросли новокачалинской свиты Приморья // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 4-й всероссийской конференции молодых ученых, Владивосток, 27 августа – 5 сентября 2012 г. С. 66-68.

14. **Лихачева О. Ю.**, Пушкарь В. С. Зональная диатомовая шкала неогена Приморья (юг Дальнего Востока) // Современная микропалеонтология. Труды XV Всероссийского микропалеонтологического совещания (12-16 сентября 2012 г., Геленджик) Москва, 2012. С. 352 – 354.

15. **Лихачева О. Ю.**, Авраменко А. С. Центрические диатомовые водоросли из среднемиоценовых отложений ханкайской депрессии Приморья // Современная палеонтология: классические и новейшие методы. Материалы 9-й всероссийской научной школе молодых ученых-палеонтологов, Москва, ПИН, 1-3 октября 2012г. С. 30-31.

Олеся Юрьевна ЛИХАЧЕВА

ОСНОВНЫЕ ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НЕОГЕНА ЮГА
ПРИМОРЬЯ (диатомовый анализ)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Подписано к печати _____. Формат _____

Тираж _____. Заказ _____

Отпечатано в типографии _____
_____ г. Владивосток, ул. _____