

УДК: 551.87

БИОГЕННОЕ КРЕМНЕНАКОПЛЕНИЕ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ МОРСКОМ БАССЕЙНЕ В ПАЛЕОЦЕНЕ–ЭОЦЕНЕ: ФАКТОРЫ И СТАДИИ

© 2017 г. П. В. Смирнов^{1,2}, А. О. Константинов¹¹Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38²Clausthal University of Technology Clausthal-Zellerfeld, Adolph-Roemer-Straße, Germany, 2A D-38678, e-mail: geolog.08@mail.ru

Поступила в редакцию 01.07.2016 г.; принята к печати 09.02.2017 г.

Факторы и стадийность формирования опал-кristобалитовых пород в Зауралье и Западной Сибири. Анализ, систематизация, обобщение литологических и палеонтологических данных, на основе фондовых материалов по геологосъемочным и поисково-разведочным работам на опал-кristобалитовое сырье. Определены основные палеогеографические факторы распространения кремнистых отложений серовской и ирбитской свит, а также основные стадии кремненакопления в пределах рассматриваемой территории. Составлены новые и дополнены палеогеографические схемы предыдущих исследователей, на которых выделены фациальные зоны, а также произведена реконструкция динамики бассейна; установлены факторы, контролировавшие эволюцию выявленных фациальных зон. Биогенное кремненакопление в Западной Сибири проходило в четыре стадии: датскую, танетскую, ипрскую и ипр-лутетскую. Интенсивность кремненакопления начала увеличиваться в ипре, достигла максимума к концу лутета и остановилась на рубеже приабона/рюпеля. Основными причинами биогенного кремненакопления являлись обширные морские связи с бассейнами Мирового океана, апвеллинги и движения водных масс, наличие развитой гидрологической сети, благоприятный тектонический режим, обусловивший слабое терригенное разбавление осадков. Седиментогенез опал-кristобалитовых пород происходил в условиях отсутствия существенного влияния вулканических процессов на осадконакопление. Главные различия между северо-западной и юго-восточной частями бассейна в эпоху накопления диатомовых илов заключались в различном химизме вод южных и северных морей и объемах терригенного сноса. Сочетание глубины бассейна вдоль Урала и минимального привноса терригенного материала обусловило значительную мощность зоны фотосинтеза, что вместе с избытком биогенного вещества способствовало пышному развитию здесь диатомовой флоры. Повышенное содержание кремнекислоты в холодных водах, с одной стороны определило высокую продуктивность кремнескелетной флоры и лучшую сохранность диатомовых илов, с другой – препятствовало развитию карбонатскелетных организмов. Раннепалеогеновое биогенное кремненакопление в Западной Сибири, наряду с аналогичными процессами в Северной Атлантике, в определенной мере предшествовало глобальному эоценовому этапу биогенного кремненакопления.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Зауралье, палеогеографическая обстановка, биогенное кремненакопление, биокремнистые отложения, диатомиты, опоки, апвеллинг, палеоцен, эоцен, талицкая свита, серовская свита, ирбитская свита

BIOGENIC SILICEOUS ACCUMULATION IN EARLY PALEOGENE MARINE BASINS OF WESTERN SIBERIA: FACTORS AND STAGES

Pavel V. Smirnov^{1,2}, Alexandr O. Konstantinov¹¹Tyumen' Industrial University, 38 Volodarsky st., Tyumen', 625000, Russia²Clausthal University of Technology, Germany, D-38678, Clausthal-Zellerfeld, Adolph-Roemer-Straße, 2A, e-mail: geolog.08@mail.ru

Received 15.08.2016; accepted 29.11.2016

Factors and stages of biogenic siliceous accumulation rocks in the Transuralian region and Western Siberia during Early Cenozoic. Analysis, systematization, generalization of lithological and paleontological data on the basis of geological survey and exploration field works for opal cristobalite raw materials. The main paleogeographic factors of the distribution of siliceous deposits of the Serov and Irbit formations are determined, as well as the main stages of biogenic siliceous accumulation within the Transuralian and Western Siberia regions. Based on the analysis and systematization of the new data, and updated paleogeographic schemes of previous researchers the dynamics of the basin have been reconstructed and the factors that controlled the evolution of the new identified facies zones were established. Biogenic siliceous accumulation in Western Siberia took place in four stages: Danian, Tanetian, Ypresian and Ypresian-Lutetian. The intensity of the siliceous accumulation began to increase in Ypresian, reached a maximum at the end of the Lutetian. The main causes of biogenic accumulation were extensive marine links with the basins of the World Ocean, upwelling and water movement, the developed hydrological network, a favorable tectonic regime, which caused a weak terrigenous dilution of sediments.

Для цитирования: Смирнов П.В., Константинов А.О. (2017) Биогенное кремненакопление в Западно-Сибирском морском бассейне в палеоцене–эоцене: факторы и стадии. *Литосфера*, 17(4), 26–47. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-026-047

For citation: Smirnov P.V., Konstantinov A.O. (2017) Biogenic siliceous accumulation in Early Paleogene marine basins of Western Siberia: Factors and stages. *Litosfera*, 17(4), 26–47. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-026-047

Sedimentogenesis of opal-cristobalite rocks occurred in the absence of a significant influence of volcanic processes. The main differences between the northwestern and southeastern parts of the basin in the era of accumulation of diatomaceous ooze consisted of a different chemistry of the waters and terrigenous demolition of the southern and northern seas. The combination of the depth of the basin along the Urals and the minimal introduction of terrigenous material determined the considerable power of the photosynthetic zone, which together with an excess of nutrients promoted the luxuriant development of diatom flora here. Early Paleogene biogenic siliceous accumulation in Western Siberia, along with similar processes in the North Atlantic, to some extent preceded the global Eocene stage of siliceous accumulation.

Keywords: *Western Siberia, the Trans-Urals, paleogeographic environment, biogenic siliceous accumulation, biogenic-siliceous sediments, diatomite, opoka, upwelling, Paleocene, Eocene*

Acknowledgements

The authors are sincerely grateful to I.I. Nesterov, T.V. Oreshkina and N.I. Afanas'eva for valuable advice and recommendations, and for a discussion of the results of the work.

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Западной Сибири на протяжении палеоцена–эоцена существовал сообщающийся с Арктикой и Тетис эпиконтинентальный морской бассейн, который оказывал значительное влияние на глобальную океаническую циркуляцию и климатические условия всего Северного полушария [Стрельникова, 1974; Radionova et al., 2001, 2003; Ахметьев и др., 2001, 2004; Барабошкин и др., 2007]. В позднем палеоцене и раннем эоцене на территории Западной Сибири и Зауралья в пределах неглубоких морских седиментационных бассейнов в условиях полного отсутствия карбонатного планктона происходило интенсивное развитие кремне-скелетных организмов, в первую очередь диатомовых водорослей, игравших ведущую роль в осадкообразовании практически во всех районах развития морского палеогена Западно-Сибирской равнины, особенно в северном и западном районах. В данном регионе эта группа водорослей имеет породообразующее значение, а в условиях ограниченного развития карбонатного планктона еще и стратиграфическое. Кроме того, диатомовые водоросли являются достаточно точным индикатором палеогеографических условий морских бассейнов, позволяя реконструировать гидродинамические, гидрохимические и палеоклиматические условия всего седиментационного бассейна [Fenner, 1994; Mitlehner, 1996; Crouch, Brinkhuis, 2005; Barron et al., 2015].

В последние годы получен значительный объем фактических данных, что позволило существенно уточнить возраст зональных подразделений палеогена по диатомеям на основании прямой комплексной биостратиграфической корреляции по разным группам микропланктона. Теоретический материал по палеогеографии Западной Сибири, а также анализ отдельных аспектов кремненакопления на рубеже палеоцена–эоцена представлен в следующих работах [Умова и др., 1968; Бочков, 1969; Рубина, 1973; Шацкий и др., 1973; Хворова, 1974; Шацкий, 1978; Генералов, Дрожащих, 1987; Амон, 1990; Беньямовский и др., 1993, 2002; Ахметьев и др., 2001, 2004, 2010; Barron et al., 2015; и др.].

Динамика глобальных и региональных процессов, климатических условий и тектогенеза предопределили изменения характера и масштабов кремненакопления в пределах одного и того же седиментационного бассейна на протяжении небольшого в геологических масштабах периода (палеоцен–эоцен). В настоящей статье представлен анализ условий и стадийности биогенного кремненакопления, включавший обобщение данных по изменению характера седиментации и пространственных границ локализации разных осадочных пород, связи кремненакопления с трансгрессивно-регрессивными циклами, особенностей тектогенеза и событий в пределах горно-складчатого обрамления. Работа базируется на подходах и материалах А.П. Астапова, П.П. Генералова, У.Г. Дистанова, Л.А. Миняйло, И.И. Нестерова; в части методологии палеогеографических реконструкций – на работах отечественных (М.А. Ахметьева, Г.Н. Александровой, Э.О. Амона, В.Н. Беньямовского, Т.В. Орешкиной и др.) и иностранных (J.A. Barron, J.T. Corne и др.) ученых.

ФАКТОРЫ БИОГЕННОГО ПАЛЕОЦЕН-ЭОЦЕНОВОГО КРЕМНЕНАКОПЛЕНИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Максимальная интенсивность биогенного кремненакопления в эпиконтинентальных морских бассейнах характерна для неритовой (гемипелагической) зоны, где в благоприятных гидрохимических и гидродинамических условиях формируются кремне-скелетные организмы с крупным и грубым панцирем. Кроме того, оптимальные условия для развития диатомовой флоры предполагают значительные концентрации таких элементов, как азот, фосфор, железо, кальций, калий и марганец и в первую очередь достаточное содержание кремния, который усваивается диатомеями в виде кремневой кислоты и органических соединений кремния и является определяющим фактором их развития [Round et al., 1990; Glezer, 1996; Laing, 1999; Smol, Stoermer, 2010].

Развитие диатомей лимитируется не только количеством биогенных элементов, но и степенью

освещения в зоне фотосинтеза. Недостаток освещенности даже в относительно богатых биофильными элементами водах снижает интенсивность фотосинтеза, укорачивает вегетационный период, что приводит к малому поступлению диатомей на дно, несмотря на их высокую биомассу и численность.

Важно отметить, что формирование мощной толщи кремнистых осадков предполагает отсутствие или минимальный привнос терригенного материала, разбавляющего кремнистый осадок и подавляющего развитие диатомей [Кеннет, 1987]. Гидрохимические и гидродинамические условия бассейна седиментации должны обеспечивать благоприятные условия захоронения отмерших диатомей [Глезер, 1974; Прошкина-Лавренко, 1974]. Важно упомянуть, что вопрос механизма происхождения опок и трепелов остается дискуссионным, однако наибольшее распространение и аргументацию получила гипотеза “созревания”. В данной теории происхождение абиморфных силицитов (опок и трепелов) рассматривается как результат диагенетических процессов. В диагенезе в иловых водах происходят растворение нестойких форм биогенного А-опала и переотложение его в абиморфный опал-кристобалит-тридимит (ОКТ), кристобалит, а в последующем – в халцедон и кварц [Wise, Weaver, 1974]. В любом случае образование опок требует тех же условий, что и формирование диатомитов, а процессы преобразования вторичны.

Одним из наиболее существенных источников привноса значительного количества биогенных элементов, необходимых для формирования мощных толщ кремнистых пород, являются океанические апвеллинги [Calvert, 1974; Isaacs et al., 1983; Koizumi, 1983], характерные для участков континентального шельфа. Серьезное влияние на биогенное кремненакопление в Западной Сибири оказало тектоническое строение региона (рис. 1). Даже при первом приближении очевидно, что литофациальная зона распространения опал-кристобалитовых пород совпадает с внешним поясом Западно-Сибирской плиты. Важно отметить, что для всего раннепалеогенового времени сохранялся один и тот же тектонический план.

Внешний пояс обладает относительно простым строением, сокращенной мощностью и неполным разрезом мезозойско-кайнозойских осадков с характерным преобладанием по площади положительных структур над отрицательными [Рудкевич, 1980], которые отличаются высокой степенью унаследованности от складчатого основания. Поверхность эоцена опущена в обеих зонах до глубин 400–450 м, в центральной полосе глубины кровли меняются до 150–350 м, а структуры северной части гипсометрически выше и имеют большую амплитуду, чем поднятия Среднего Приобья. Для эо-

ценовых отложений структурный план в основных чертах совпадает с планом указанных структур, в связи с чем фиксируется общее региональное погружение пород в северо-восточном направлении [Рудкевич, 1980]

СТАДИИ БИОГЕННОГО КРЕМНЕНАКОПЛЕНИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

На значительных территориях западной, северной и южной окраин Западно-Сибирской плиты кремнистые породы палеоцена и эоцена (равно как и верхнего мела) выходят на дневную поверхность или залегают непосредственно под четвертичными отложениями. Вместе они образуют единую литофациальную зону шириной до 300 км при суммарной мощности кремнистых толщ до 300 м и более (см. рис. 1). Для обозначения морского палеоцен-эоценового бассейна ранее нередко употреблялся термин “Люлинворское море”, а для отложений палеоцена–эоцена на большей части Западно-Сибирской равнины – “люлинворская свита”, закрепленный в региональных стратиграфических схемах [Унифицированные..., 2001]. На севере, западе (в Приуральской части) и юго-западе Западно-Сибирской равнины разрезы кремнистого палеогена однотипны и имеют трехчленное строение. Для обозначения коррелятных и одновозрастных люлинворской свите отложений в Зауралье выделены серовская и ирбитская свиты, которые являются основными продуктивными горизонтами на опал-кристобалитовые породы.

Палеогеновое морское кремненакопление в пределах Западно-Сибирской плиты не было непрерывным и претерпевало ряд трансформаций, связанных с блоковыми подвижками фундамента и эвстатическими колебаниями, а его интенсивность находилась в тесной связи с гидродинамическими, гидрохимическими и палеоклиматическими условиями всего седиментационного бассейна. Формирование опал-кристобалитовых пород, конфигурация литофациальной зоны и т. д. напрямую связаны с трансгрессивно-регрессивными циклами, имевшими место в Западной Сибири на протяжении палеоцена и эоцена. Основной объем кремнистых пород в Западной Сибири представлен биокремнистыми породами палеогена (табл. 1) – опоками и опоковидными глинами серовской свиты позднего палеоцена и диатомитами и диатомовыми глинами ирбитской свиты раннего эоцена, которые имеют много общего (состав и условия формирования) с кремнистыми породами верхнего мела. Вместе с тем наличие прослоев диатомитов и опок в составе отложений талицкой свиты палеоцена в приуральских районах [Черепанов, 1983] свидетельствует о более раннем начале биокремнистого накопления в Западной Сибири в палеогене (дании). Породы верхов нижнего эоцена с характерным комплексом ди-

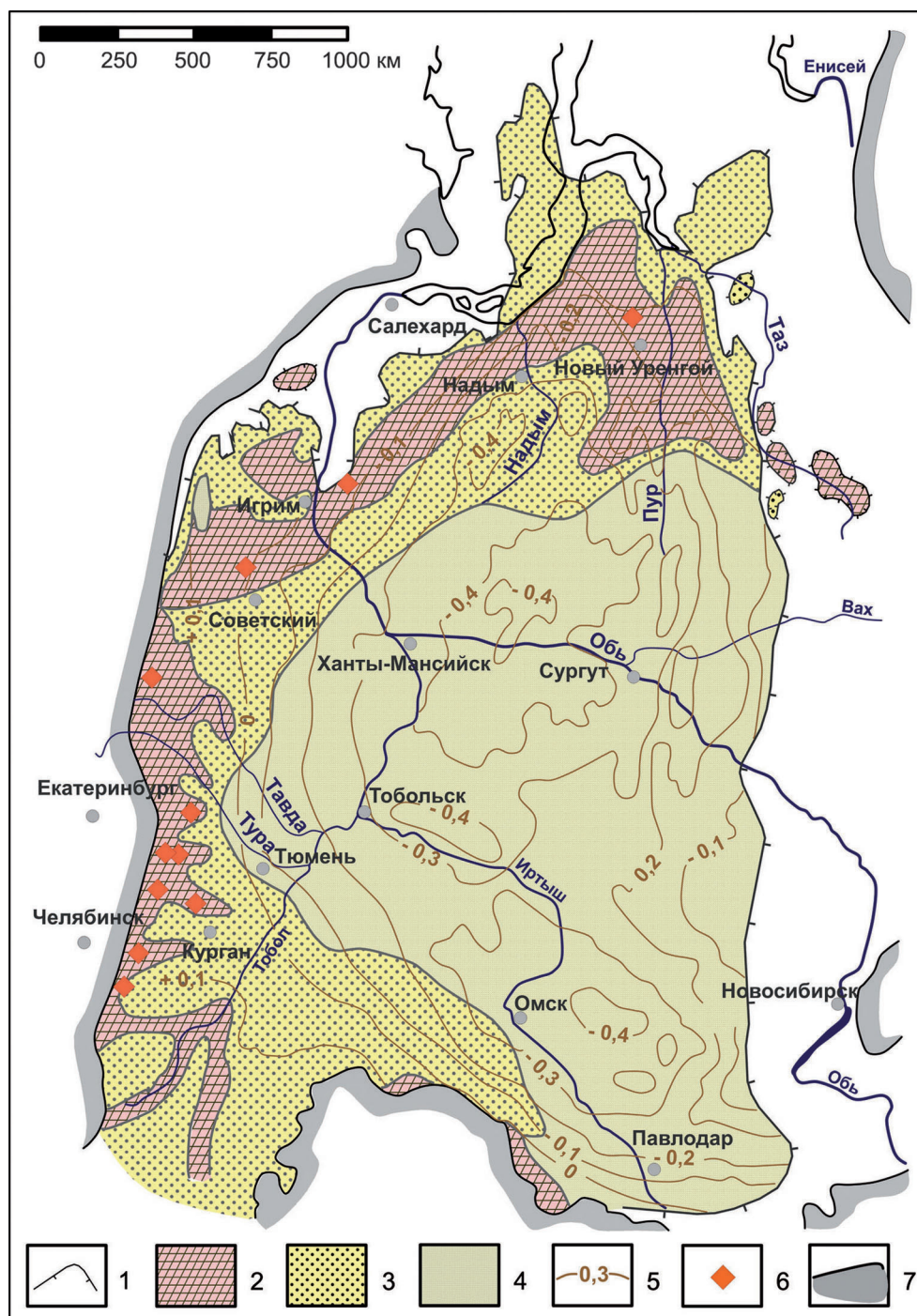


Рис. 1. Западно-Сибирская провинция ОКП по [Дистанов, 1974; Генералов, Дрожащих, 1987] с дополнениями.

1 – границы литофациальных зон; 2–3 – зона приповерхностного и малоглубинного залегания: 2 – диатомитов, опок и трепелов, 3 – диатомовых и опоквидных глин; 4 – зона преимущественно глубинного залегания глинистых и кремнисто-глинистых пород; 5 – изогипсы кровли палеоцен-эоценовой формации; 6 – известные месторождения опок, трепелов и диатомитов; 7 – границы Западно-Сибирской равнины.

Fig. 1. Western Siberian province of opal-cristobalite rocks after [Distanov, 1974; Generalov, Drozhashchikh, 1987] with adding.

1 – borders of lithofacies zones; 2–3 – zone of near-surface and shallow occurrence: 2 – diatomites, opoka and tripolites, 3 – clayey diatomaceous and opoka-like clays; 4 – zone of predominantly deep occurrence of clayey and siliceous-clayey rocks; 5 – isohypses of bed-top boundary of Paleocene-Eocene formation; 6 – known fields of diatomite, opoka and tripolite; 7 – bounders of Western Siberian lowland.

Таблица 1. Стадии палеоцен-эоценового кремненакопления в Западной Сибири**Table 1.** Stages of Paleocene, Eocene siliceous accumulation in Western Siberia

Стадия	Временные границы	Свита	Содержание этапа
I	Даний	Талицкая	Начало биогенного кремненакопления
II	Поздний танет	Серовская	Активизация биогенного кремненакопления
III	Ипр	Ирбитская	Максимум биогенного кремненакопления
IV	Ипр–ранний лютет	Ирбитская (с диатомовым комплексом <i>Puxilla oligocaenica</i>)	Затухание биогенного кремненакопления

атомовых водорослей с *Puxilla oligocaenica*, который развит спорадически, необходимо рассматривать как завершение кремнистого накопления в Западной Сибири в палеогене и переход от сплошного биогенного кремненакопления к очаговому.

В стратиграфическом отношении датское время в Западной Сибири соответствует талицкому горизонту, объединяющему свиты морского (талицкую, марсятскую и ивдельскую), прибрежно-морского (рявкинскую, парабельскую, тибейсалинскую) и континентального (вылконскую и саровскую) происхождения. В Зауралье талицкий горизонт представлен талицкой свитой, которая четко подразделяется на нижнюю, существенно глинистую, и верхнюю, алевроитисто-глинистую. Нижнеталицкая подсвита представлена опоковидными алевроитистыми аргиллитоподобными темно-серыми глинами с прослоями зеленых глауконит-кварцевых алевроитов и песков со стяжениями сидерита, фосфорита и марказита. Породы также содержат сростки пирита и пиритизированные растительные остатки. Верхнеталицкая подсвита складывается темно-серыми пластичными глинами с линзами алевролитов и кварц-глауконитовых песчаников [Черепанов, 1983].

В центральной части равнины в нижнеталицкой подсвите прослеживается “кремнистый” горизонт, представленный тонкими прослоями опоковидных глин предположительно биогенного генезиса, который служит проявлением первичных процессов биогенного кремненакопления в палеоцене. Нижняя часть талицкой свиты формировалась в условиях ограниченных связей с Арктическим бассейном, верхняя подсвита – в условиях их ослабления, либо временной утраты (рис. 2).

В датское время морской бассейн, частично сохранившийся с позднемелового времени, восстанавливает первоначальные контуры (около 38% площади Западно-Сибирской равнины), практически вплотную подходя к Уралу на западе, а на севере, востоке и юге ограничиваясь низменной равниной [Шацкий и др., 1973]. В палеоструктурном плане в дании большая часть Западно-Сибирского бассейна испытывала слабодифференцированное устойчивое опускание и лишь южное обрамление плиты и смежные с ним участки были подвержены активному подъему.

В момент максимального развития раннепалеоценовой трансгрессии Западно-Сибирское море, вероятно, имело кратковременные или ограниченные связи с северным Арктическим бассейном, на что указывают находки фауны в породах нижнеталицкой подсвиты. Влияние бореальных водных масс устанавливается по комплексу диноцист с *Carpatella cornuta* и *Senoniasphaera inornata* [Васильева, 1990], проникновение теплых субтетических водных масс – по находкам южных форм планктонных фораминифер *Globoconusa daubjargensis* в отложениях нижнеталицкого подгоризонта [Амон и др., 2003]. В позднем палеоцене площадь и глубины бассейна значительно сократились, что определяется по резкому снижению хоратных диноцист [Бакиева, 2003]. Почти полное отсутствие в составе комплексов представителей планктона и незначительное количество общих видов с видами фораминифер Средиземноморской провинции говорят о слабых связях позднепалеоценового Западно-Сибирского бассейна с южными морями. Фациальное замещение морских осадков преимущественно аллювиальными и дельтовыми отложениями в северных районах указывает на изоляцию Западно-Сибирского бассейна от арктических морей.

Климат территории в позднем палеоцене был теплым и влажным, что подтверждается широким развитием в имеющейся флоре представителей теплолюбивых форм, а также субтропических и тропических. Палеонтологические остатки и находки бокситов свидетельствуют о существовании климата со среднегодовыми температурами выше 20°C. Состав фораминифер – *Haplophragmoides*, *Ammodiscus*, *Bathysiphon* – указывает на значительные, порядка 200 м, глубины бассейна [Гурова, Казаринов, 1962; Шацкий и др., 1973].

Позднетанетская стадия

Активизация палеогенового кремненакопления в Западной Сибири и Зауралье в значительной степени связана с позднетанетской–раннеипрской трансгрессией (рис. 3). Развитие трансгрессивного цикла устанавливается по увеличению числа и разнообразия таксонов диноцист морского бассейна *Alterbidinium circulum* до 15–20% [Бакиева,

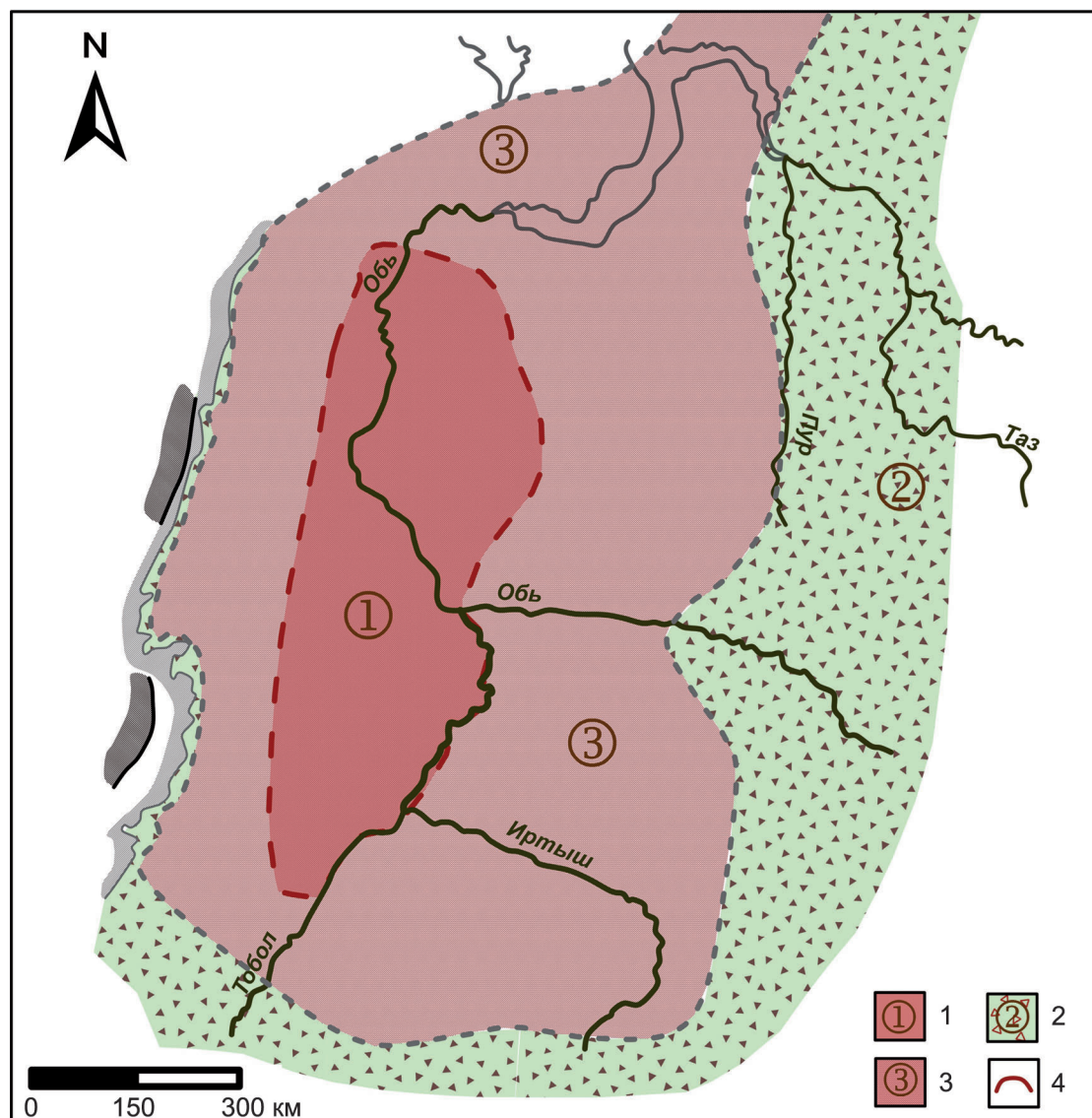


Рис. 2. География биогенного кремненакопления в Западной Сибири в датское время [Черепанов, 1983] с дополнениями.

1 – “кремнистый” горизонт в составе талицкого горизонта, 2 – зоны терригенной седиментации, 3 – зона распространения талицкого горизонта, 4 – границы зоны биогенного кремненакопления в эпиконтинентальных бассейнах.

Fig. 2. Geography of biogenic siliceous accumulation in Western Siberia in Danian time [Cherepanov, 1983] with adding.

1 – “siliceous” horizon as a part of Talitsa horizon, 2 – terrigenous demolition area, 3 – spreading of Talitsa horizon, 4 – borders of biogenic siliceous accumulation zone in epicontinental basins.

2003]. Западно-Сибирское море расширилось не только в северо-западном направлении, но и в юго-восточном. Палеобиогеографические связи, общность комплексов бентосных и планктонных фораминифер и диноцист [Ахметьев и др., 2001, 2004] позволяют утверждать, что Западно-Сибирский бассейн обладал обширными открытыми связями с бореально-суббореальными бассейнами Европы. Одновременно существовала связь между арктическими мелководными бассейнами Северной Аме-

рики и Тургайского пролива [Radionova et al., 2001; Барабошкин и др., 2007]. Последующее наступление бореальной трансгрессии привело к формированию обширных морских пространств и проливов на северо-западе и северо-востоке, через которые в Западный Сибирский бассейн поступали дополнительные арктические водные массы. Именно в этот период в условиях умеренных глубин началось накопление толщ опок и опоковидных глин серов-ской свиты.

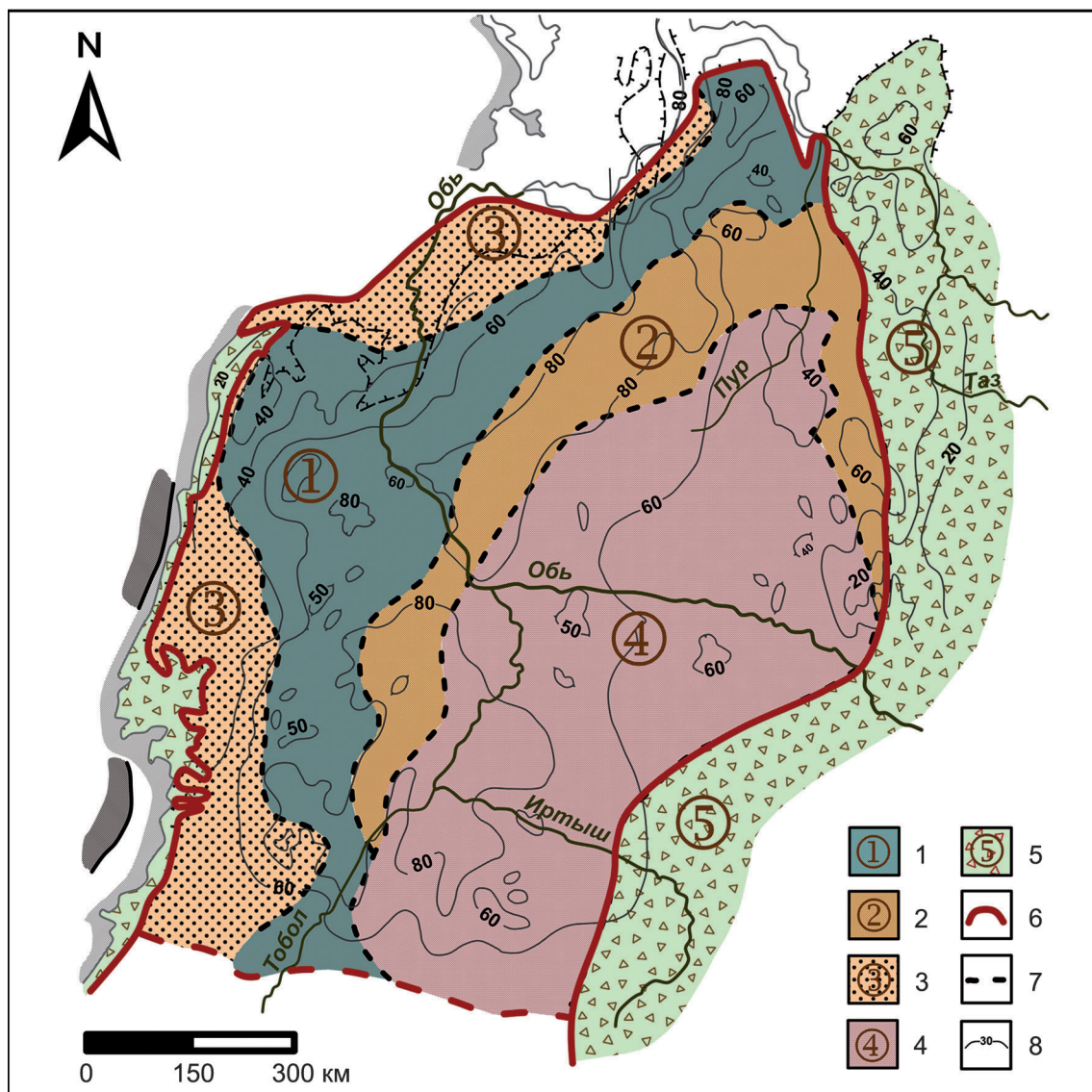


Рис. 3. География биогенного кремненакопления в Западной Сибири в танетское время [Генералов, Дрожащих, 1987] с дополнениями.

1 – зона биокремнистого осадконакопления (серовская свита), 2 – зона кремнево-глинистого осадконакопления, 3 – зона кремнево-песчаного осадконакопления, 4 – зона глинистой седиментации, 5 – зоны терригенной седиментации, 6 – границы зоны биогенного кремненакопления в эпиконтинентальных бассейнах, 7 – границы литофациальных зон, 8 – изопакхиты.

Fig. 3. Geography of biogenic siliceous accumulation in Western Siberia in Tanetian time [Generalov, Drozhashchikh, 1987] with adding.

1 – biogenic siliceous accumulation zone (Serov Formation), 2 – zone of silica-clay sedimentation, 3 – zone of silica-sand sedimentation, 4 – zone of clay sedimentation, 5 – zones of terrigenous sedimentation, 6 – borders of biogenic siliceous accumulation zone in epicontinental basins, 7 – borders of lithofacies zone, 8 – isopachytes.

Серовская свита (P_{2st}) сложена опоками, глинистыми опоками и опоквидными глинами, отличающимися характерным раковистым изломом. Глинистость пород увеличивается вверх по разрезу и при движении от окраинных частей Западной Сибири к ее центральной части [Генералов, Дрожащих, 1987].

В целом структурный план палеоцена следует рассматривать как унаследованный от маастрихтского времени. Рельеф суши, окружавшей палеоценовый бассейн, по всей видимости, отличался сравнительным однообразием. Основные области сноса были сnivelированы до положения невысоких денудационных равнин. Позднепалеоце-

новое время отличается заметным ослаблением активности тектонических движений в прилегающих частях обрамления. Ослабление тектонических движений и пенеппенизация суши на обрамлении способствовали усилению процессов выветривания. Песчаный материал кварц-глауконитового состава накапливался в начальную стадию развития зеландско-раннетанетской трансгрессии. В конце данного этапа наступила кратковременная регрессия, отвечающая перерыву в пограничном интервале раннего и позднего танета, что особенно ярко проявилось на севере Западно-Сибирской платформы.

Отложения серовской свиты формировались в весьма тепловодную фазу, соответствующую глобальному потеплению на палеоцен-эоценовом рубеже (PETM), о чем свидетельствует массовое присутствие циртид – отряда тепловодных океанических радиолярий – в комплексах пограничной палеоцен-эоценовой зоны *Petalospyris foveolata* [Kozlova et al., 1998]. Ассоциация радиолярий зоны *Petalospyra foveolata* прослежена в Западно-Сибирском, Восточно-Прикаспийском и Туранском бассейнах. Вместе с радиоляриями присутствуют диатомовые водоросли зоны *Hemiaulus proteus/Coscinodiscus uralensis* пограничного интервала палеоцена и эоцена [Козлова, Стрельникова, 1984; Козлова, 1999; Radionova et al., 2001; Ахметьев, Беньямовский, 2006]. Среди диатомей и радиолярий в этом интервале появляются пелагические космополитные океанические виды, они свидетельствуют о тепловодной обстановке конца палеоцена и начала эоцена, способствовавшей миграции океанических видов в бореальные североевразийские окраинные и внутренние моря [Oreshkina, Oberhänsli, 2003].

Ипрская стадия

В ипрское время формировались отложения ирбитской свиты (P_{2ir}), представленной морскими отложениями, распространенными на всей территории Зауралья. В западной части Зауралья их выходы встречаются в долинах рек Сосьва, Лозьва, Тура, Ница, Ирбит, Пышма, Миасс и др. [Стефановский, Бородин, 2002; Стефановский и др., 2003]. В восточной части Западно-Сибирской равнины кровля свиты вскрывается скважинами на глубинах от 10 до 200 м под более молодыми отложениями. В самых полных разрезах Зауралья свита делится на две подсвиты.

Нижнеирбитская подсвита представлена в основном диатомитами, диатомитовыми, реже трепеловидными и опоковидными глинами, иногда с прослоями кварцевых и глауконит-кварцевых алевролитов и песчаников. Мощность подсвиты 5–50 м. На севере и западе опал-кристобалитовые породы нижнеирбитского горизонта характеризуются

приповерхностным залеганием [Андреев, 1960; Генералов, Дрожащих, 1987; Астапов, Файбусович, 1998]. В соответствии с данными, полученными при исследованиях отложений Камышловского карьера, диатомиты содержат диатомеи зоны *Moisseivia (Coscinodiscus) uralensis/Hemiaulus proteus* [Oreshkina et al., 2004].

Верхнеирбитская подсвита (10–150 м) представлена серыми, зеленовато-серыми диатомовыми и монтмориллонит-бейделлитовыми глинами, глинистыми диатомитами и диатомитами. Мощность свиты в целом достигает 200 м. По минеральному составу породы верхнеирбитской подсвиты практически не отличаются от нижележащих диатомитов, только в легкой фракции отмечается более низкое содержание биогенного опала и более высокое – глауконита [Генералов, Дрожащих, 1987].

Для ипрского и ипрско-раннелютетского времени характерна максимальная интенсивность биогенного кремненакопления, связанная с продолжившимся расширением морской трансгрессии и формированием гигантского раннеэоценового бассейна, характеризовавшегося высокой степенью связи с бассейнами Арктики и Тетис [Беньямовский и др., 2002; Беньямовский, 2007]. Ипрское время включает в себя два этапа развития морского бассейна: 1) ипрский трансгрессивный этап с накоплением диатомитов и диатомитовых глин ирбитской свиты (рис. 4); 2) регрессивный ипр-лютетский этап затухания биогенного кремненакопления, его переход от сплошного к очаговому (рис. 5).

В ипрское время морские трансгрессии эвстатической природы достигали наибольших амплитуд: в трансгрессивную фазу более 70% территории Западно-Сибирской плиты было покрыто морем, площадь которого превышала 3 млн км² [Барбошкин и др., 2007]. Ипрские трансгрессии имели встречные векторы направленности, были сквозными: соединяли Арктический бассейн и Тетис. В этот период Западно-Сибирское море характеризовалось максимально открытыми связями с Арктическим, Тетическим и Средиземноморским бассейнами. Трансгрессивная ипрская фаза фиксируется по резкому обновлению состава планктонной и бентосной морской микробиоты.

Результаты биогеографического анализа [Ахметьев и др., 2001, 2004] разных групп микрофауны и палиноморф позволяют утверждать, что в ипрском веке на осадконакопление оказывал заметное влияние Арктический бассейн, а в лютетском – Тетический, что находит отражение в изменении особенностей осадконакопления. На протяжении палеоцена и эоцена воздействие Арктического бассейна в большей мере отражалось на составе холодноводного бентоса, Тетис – на биоте фотического слоя [Akhmetiev et al., 2012]. Со средне-

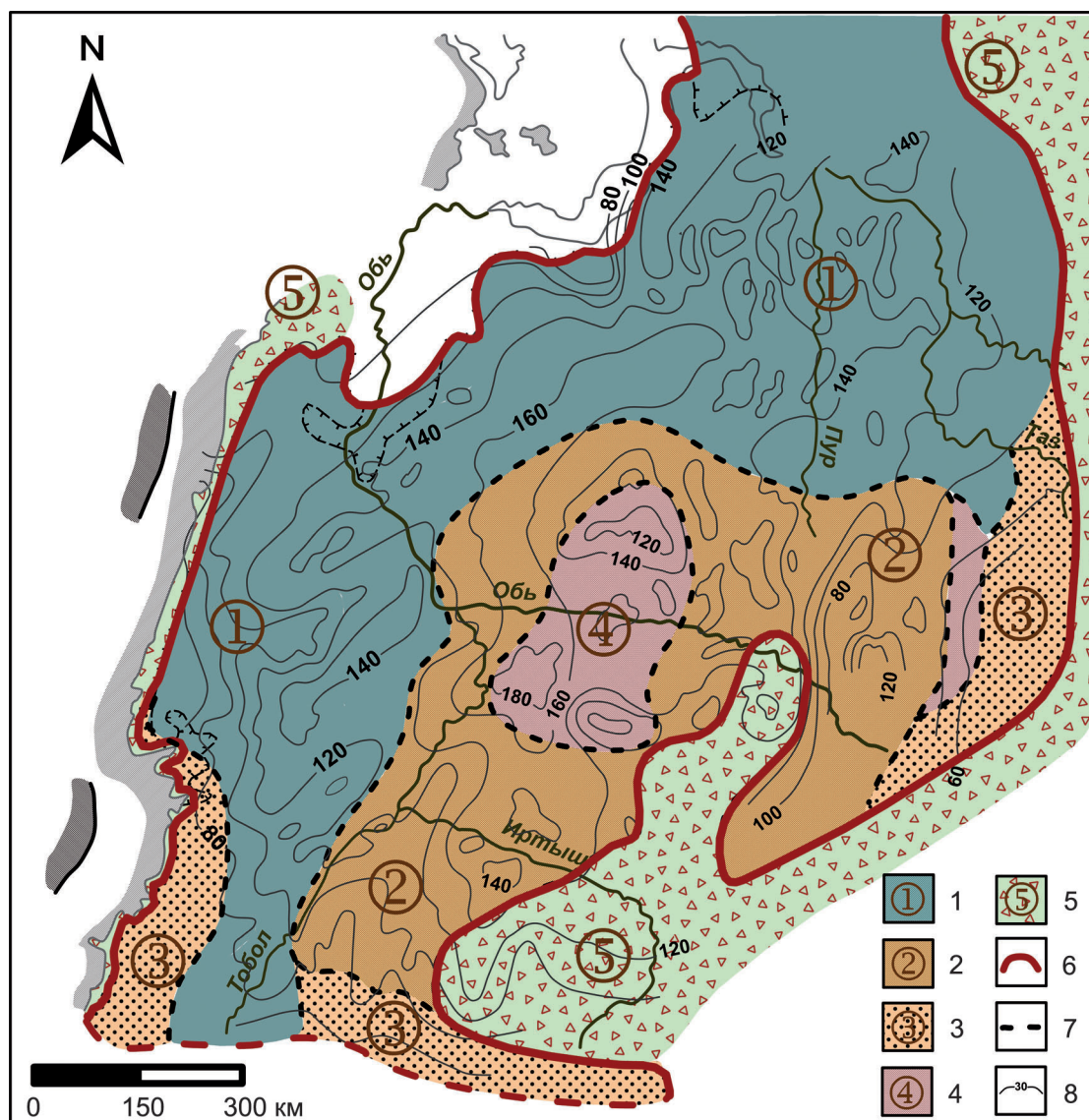


Рис. 4. География биогенного кремненакопления в Западной Сибири в раннеипрское время [Генералов, Дроздаших, 1987] с дополнениями.

1 – зона биокремнистого осадконакопления (ирбитская свита), 2 – зона кремниево-глинистого осадконакопления, 3 – зона кремниево-песчаного осадконакопления, 4 – зона глинистой седиментации, 5 – зоны терригенной седиментации, 6 – границы зоны биогенного кремненакопления в эпиконтинентальных бассейнах, 7 – границы литофациальных зон, 8 – изопахиты.

Fig. 4. Geography of biogenic siliceous accumulation in Western Siberia in Early Ypresian time [Generalov, Drozhashchikh, 1987] with adding.

1 – biogenic siliceous accumulation zone (Irbit Formation), 2 – zone of silica-clay sedimentation, 3 – zone of silica-sand sedimentation, 4 – zone of clay sedimentation, 5 – zones of terrigenous sedimentation, 6 – borders of biogenic siliceous accumulation zone in epicontinental basins, 7 – borders of lithofacies zone, 8 – isopachytes.

го эоцена, по мере развития коллизии Индостанской плиты с азиатским континентом, планктонная микробиота распространялась с юга уже не из Тетис, а из окраинного Туранского моря в Тургайский прогиб, а через него – в Западно-Сибирское море. О том, что отложения данного периода формировались в весьма тепловодную фазу, свидетельству-

ет массовое присутствие диатомов в комплексах пограничной палеоцен-эоценовой зоны *Petalospyris foveolata* [Kozlova et al., 1998]. Ассоциация радиоларий зоны *Petalospyra foveolata* прослежена в Западно-Сибирском, Восточно-Прикаспийском и Туранском бассейнах. Вместе с радиолариями присутствуют диатомовые водоросли зоны *Hemiaulus*

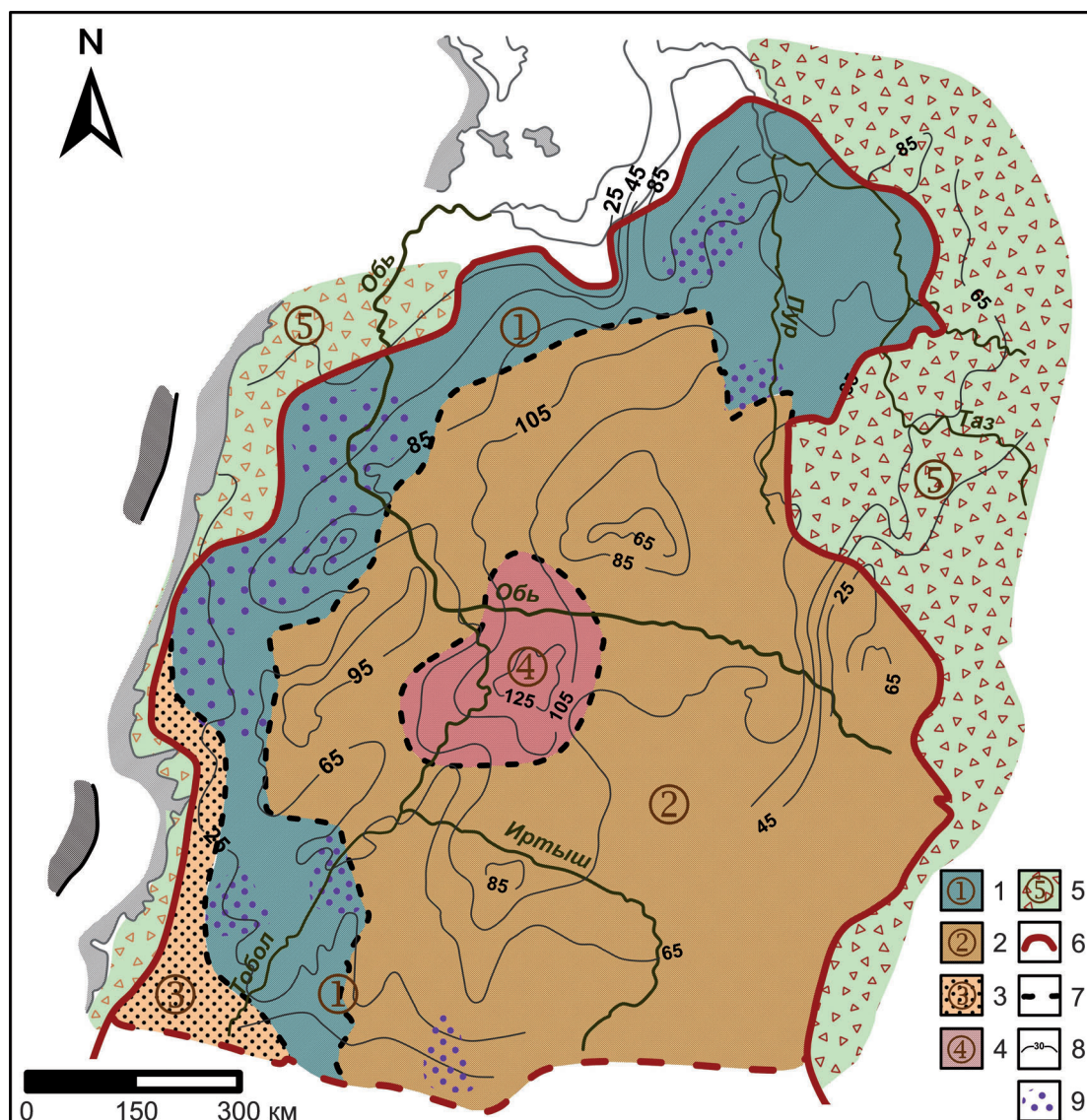


Рис. 5. География биогенного кремненакопления в Западной Сибири в позднеирбитское время [Генералов, Дрозжащих, 1987] с дополнениями.

1 – зона биокремнистого осадконакопления (верхи ирбитской свиты), 2 – зона кремниевато-глинистого осадконакопления, 3 – зона кремниевато-песчаного осадконакопления, 4 – зона глинистой седиментации, 5 – зоны терригенной седиментации, 6 – границы зоны биогенного кремненакопления в эпиконтинентальных бассейнах, 7 – границы литофациальных зон, 8 – изопакхиты, 9 – отложения с комплексом *Puxilla oligocaenica*.

Fig. 5. Geography of biogenic siliceous accumulation in Western Siberia in Late Irbit time [Generalov, Drozhzhikh, 1987] with adding.

1 – biogenic siliceous accumulation zone (top of Irbit Formation), 2 – zone of silica-clay sedimentation, 3 – zone of silica-sand sedimentation, 4 – zone of clay sedimentation, 5 – zones of terrigenous sedimentation, 6 – borders of biogenic siliceous accumulation zone in epicontinental basins, 7 – borders of lithofacies zone, 8 – isopachytes, 9 – sediments with diatom complex *Puxilla oligocaenica*.

proteus/Coscinodiscus uralensis пограничного интервала палеоцена и эоцена [Козлова, Стрельникова, 1984; Козлова, 1999; Radionova et al., 2001; Ахметьев, Беньямовский, 2006]. Эоценовые спорово-пыльцевые комплексы свидетельствуют о доминировании в раннем эоцене разнообразных субтропи-

ческих и тропических пород. Соответственно, климат, в условиях которого образовалась эта растительность, должен был быть жарким и влажным. Растительные формации среднего и позднего эоцена (включая тавдинское время) носили ярко выраженный субтропический характер с большим коли-

чеством вечнозеленых пород, а часто и с их преобладанием – *Rhus*, *Castanopsis*, *Quercus* и др. [Любомирова, 1975].

В конце раннеэоценового времени, на рубеже ипра и лютета палеогеографическая обстановка изменилась за счет оживления тектонической активности и поднятия приполярных и заполярных районов плиты. Дальнейшее сокращение площади седиментационного бассейна связано с осушением крупных сегментов Палеоарктического бассейна, ослаблением, а затем и полной утратой морской связи с ним, что привело к смене биокремнистой седиментации на глинистую (тавдинская свита). В северной Ямал-Тазовской структурно-фациальной зоне тавдинская свита повсеместно замещена континентальной песчаной юрковской свитой [Лавров, 1957]. Изучение диноцист [Яковлева, Александрова, 2014] позволило предположить еще большее сокращение морских связей Западно-Сибирского моря с бассейнами Мирового океана в течение позднего лютета–приабона. В отложениях этой стадии фиксируются последние находки радиолярий и диатомей в Западно-Сибирском бассейне [Ахметьев и др., 2001; Беньямовский и др., 2002; Ахметьев, Беньямовский, 2006].

Наиболее молодой эоценовый комплекс диатомей зоны *Puxilla oligocaenica f. tenuis* характеризуется массовыми находками створок индекс-вида, а также *P. oligocaenica f. oligocaenica* и единичными *Coscinodiscus decrescens*, *C. Payeri* [Беньямовский и др., 2002], которые развиты спорадически. Вместе с диатомеями отмечается присутствие значительного числа спикул кремневых губок, свидетельствующее об обмелении и начинающемся опреснении бассейна.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПАЛ-КРИСТОБАЛИТОВЫХ ПОРОД В ЗАУРАЛЬЕ

Первые исследователи биогенного кремненакопления в Западной Сибири [Казаринов, Казанский, 1969; и др.] в качестве основного источника кремнезема рассматривали мощные коры выветривания окружающей палеобассейн суши [Leclaire, 1974]. Благоприятные условия дренажа и стока, вызванные незначительными поднятиями территории, способствовали усиленному привносу кремнезема из областей формирования кор выветривания в область седиментации. Образование кор выветривания, совпадавшее во времени с кремненакоплением в бассейнах, связывалось с распространением влажного тропического и субтропического климата на обширной территории. В других работах [Казанский и др., 1965; Казаринов, Казанский, 1969; Дистанов, 1974] отмечалось, что значительные толщи опал-кристобалитовых пород в эпиконтинентальных бассейнах палеогена, к числу которых относится Западно-Сибирское море, возника-

ли в периоды трансгрессии моря и относительного тектонического покоя. В.П. Казаринов и Ю.П. Казанский [1969] полагали, что эоценовая кремнистая формация Западной Сибири накапливалась при весьма слабом тектоническом оживлении в областях депланации, более интенсивном прогибании в области седиментации, нарастающей трансгрессии и влажном климате, близком к тропическому.

Изучение особенностей строения и формирования кремнистых формаций мезо-кайнозоя в эпиконтинентальных морях на основании современных данных позволяет предположить существование ряда закономерностей, характеризующих палеогеновое кремненакопление в Западной Сибири. Наиболее вероятной причиной интенсивного развития кремнескелетных организмов в раннетаплическое, серовское и ирбитское время являются апвеллинг и особенности океанической циркуляции северного полушария в рассматриваемый период [Kitchell, Clark, 1982; Cope, Winguth, 2011]. Западные ветры умеренных широт и полярные восточные ветры способствовали перемещению значительных масс воды, которые охлаждались в высоких широтах и, погружаясь на глубины, двигались вдоль континентальных склонов к экватору через Западно-Сибирское море-пролив. Насыщенные кислородом и биогенными элементами холодные воды арктического апвеллинга (течения), равно как и проточность седиментационного бассейна, обуславливали высокий кислородный потенциал морской среды, создавая условия для развития массовых популяций кремнескелетных организмов. Кроме того, существование холодноводного апвеллинга или другой более устойчивой системы глубинных течений объясняет низкую интенсивность развития карбонатных организмов в данном морском бассейне.

Рассматриваемый в качестве основного источника кремнекислоты апвеллинг предполагает некоторую, часто незначительную по меркам геологического времени, продолжительность – сезон, год и т. д. Мощности опал-кристобалитовых пород в Зауралье и Западной Сибири указывает на существование в исследуемое время устойчивого меридионально-ориентированного течения [Хворова, 1974; Ахметьев и др., 2004; Ахметьев, Беньямовский, 2006]. Одной из первых данную гипотезу предложила И.В. Хворова (1974): накопление кремнистой эоценовой толщи Зауралье обязано Северному Зауральскому течению. Холодноводность приуральского палеотечения, вероятно, была относительной: на общую теплопроводность бассейна также указывает комплекс радиолярий, имеющих миниатюрные скелеты с хорошо развитыми шипами, иглами, разветвленными радиальными отростками и ажурностью [Булатова и др., 1967]. Отмечается, что в отложениях часто встречаются скелеты в виде сильно расширенных к низу колпачков,

обычно эти признаки характерны для радиоларий экваториальных морей [Lazarus, 2013; Moore et al., 2015].

Учитывая особенности формирования классического экмановского апвеллинга, который возникает на левом по отношению к течению берегу, логично предположить, что существовал двухсторонний водообмен между арктическим и тетическим бассейнами. Данное предположение подтверждается достоверно установленными инвазиями тепловодных диатомовых из тетического бассейна в западной (зауральской) части в период климатического оптимума на границе палеоцена–эоцена [Александрова и др., 2012]. Передвижение бореальных водных масс в южном направлении трассируется по распространению одних и тех же комплексов кремневых микроорганизмов – диатомей, радиоларий и в значительно меньшей мере силикофлагеллят вдоль всего долготного морского пути.

В пределах территории Зауралья и всей Западной Сибири биогенное кремненакопление приурочено к зонам апвеллинга в краевых частях морского бассейна, либо на орографических поднятиях, где происходят активное перемешивание и подъем вод. Некоторые авторы отмечают, что образование очагов кремненакопления в окраинных бассейнах связано с трансгрессией и межбассейновым фракционированием придонных вод [Радионова и др., 1994; Орешкина, Радионова, 2005; Орешкина и др., 2008]. Водные массы, пересекая положительные формы рельефа дна, поднимались к поверхности; существенное значение, вероятно, оказывали локальные прибрежные или приостровные апвеллинги. Высокая численность диатомей в ипрский век (от 45 до 60 млн на 1 г породы) установлена Н.И. Стрельниковой [1974] в Зауральской зоне, а также по всей северной периферии Западно-Сибирского моря–пролива. Для такого интенсивного развития диатомей необходимо повышенное содержание биофильных элементов, возникшее при смешивании бореальных, суббореальных и субтетических водных масс, а также под действием береговых апвеллингов [Ахметьев и др., 2001; Орешкина и др., 2004; Oreshkina et al., 2004].

Кремненакопление с рубежа палеоцена и эоцена до лютета определялось двумя одновременно действующими системами связей внутренних акваторий с открытыми океаническими бассейнами. Южная и восточная части Западно-Сибирской плиты находились в зоне теплого южного течения, распространявшегося через Тургайский пролив вдоль ее восточного борта [Беньямовский и др., 1993]. Под влиянием холодного течения из Арктики, проходившего на юг вдоль западного борта плиты, происходило накопление опок в палеоцене и диатомитов в эоцене.

Обширный морской бассейн характеризовался почти одинаковыми физико-географическими

условиями кремненакопления. Выдержанность мощностей, преобладание тонкоотмученных глин свидетельствуют о выравнивании рельефа в областях сноса и осадконакопления в раннем эоцене, относительно затухании дифференцированных движений, на фоне которых продолжалось развитие конседиментационных структур. По мнению М.Я. Рудкевича [1980], скорость прогибания не превышала 15–20 м за 1 млн лет. Зоны максимальных мощностей в общих чертах повторяют рельеф депрессий юрско-мелового времени. Глубины люлинворского бассейна, исходя из анализа фауны, не превышали 200 м, а соленость была нормальной. Береговая линия имела устойчивый характер: на западе она располагалась вблизи восточной окраины современного Урала. В максимум трансгрессии бассейн ингрессировал по депрессиям в пределы Уральской палеосуши и по проливам соединялся с Предуральским бассейном. Восточная граница береговой линии отличалась большей подвижностью, перемещаясь с северо-запада на юго-восток. По всей видимости, максимум эоценовой трансгрессии здесь был несколько позже, чем на западе [Генералов, Боровский, 1999]. Геохимические условия, напротив, не отличались постоянством, что подтверждается значительным количеством включений пирита наряду с глаукоцитом.

Наличие прослоев диатомитов и опок в отложениях нижнеталицкой подсвиты в Приуралье свидетельствует о формировании необходимых для биогенного кремненакопления условий еще в дании. Однако широкому развитию этих процессов препятствовали ограниченные пространственно и по времени связи с морскими бассейнами Арктики и Тетис, значительный снос терригенного материала вследствие тектонической активизации южных частей бассейна, а также эрозионный врез на западе, обусловленный началом трансгрессивного цикла.

В толще диатомитов, опок и кремнистых глин нередко встречаются прослой песчаников и песков, местами наблюдается обогащение разреза алевритовым материалом. Все породы, отлагавшиеся в меньшей удаленности от береговой линии, обычно переслаиваются друг с другом, образуя пачки мощностью в несколько десятков метров. Видимо, разрезы обладают определенной цикличностью, отражающей обратимый характер осадконакопления и периодичность колебательных движений.

Песчаники и алевриты, содержащиеся в опоках и опоковидных глинах серовской свиты, фиксируют прибрежную полосу эпохи начала эоценовой трансгрессии, в низах свит встречаются в приуральской полосе вокруг выступов палеозойских пород – палеоостровов, а также прослеживающихся неширокой полосой от слияния рек Сосьва и Лозьва, на юго-восток на междуречье Пыш-

мы и Исети к северу от г. Шадринск [Генералов, Дрожащих, 1987]. При этом состав кремнисто-глинистых отложений серовской свиты, содержащих глауконитовые пески и алевроиты, указывает, что отдельные участки суши (палеоострова) были довольно многочисленны и находились в сравнительно глубоководных частях по всему периметру Западно-Сибирского моря, а также на территории современного Пур-Тазовского междуречья. Анализируя вопрос интенсивности терригенного разбавления кремнистых осадков, стоит отметить, что изучение минерального и granulometric состава позволило С.А. Чирве [Чирва, Любомирова, 1973] сделать вывод, что в эоцене Урал, представлявший собой невысокую слабохолмистую равнину, как источник сноса проявлял себя несравнимо слабее, чем обеспечивавшие основной объем поступления терригенного материала восточное и юго-восточное обрамления Западно-Сибирского моря – Сибирское плоскогорье, Алтай, Казахстан и т. д. Это объясняется, с одной стороны, несоизмеримостью площадей Уральской и Сибирской суши, с другой – тем, что повторное горообразование на Урале, превратившее слабосхолмленную равнину в горную страну с дифференциацией по вертикали, пришлось на конец неогена. По всей видимости, южное, тетическое течение, как и арктическое, поставляло необходимый для жизнедеятельности диатомей материал, но темпы поступления терригенного материала с востока и юго-востока были слишком высоки, что подавляло не только развитие диатомей, но и не позволяло формироваться диатомовым илам. К “ирбитскому времени” палеоострова в уральском секторе кременакопления были сnivelированы, что обусловило слабое терригенное разубоживание биокремнистых осадков и формирование относительно однородной диатомитовой толщи.

Наиболее чистые разности кремнистых пород приурочены к краевым частям платформенных морей. Исключение составляют территории, формировавшие береговую линию, где породы обогащаются песчаным материалом, далее кварцевыми и кварц-глауконитовыми песками. При движении к центральным областям происходит уменьшение содержания общего и аморфного кремнезема, постепенное обогащение опаловых пород глинистым и глинисто-карбонатным материалом, литофациальное замещение сначала опаловидными глинами, затем кремнистыми. Литофациальное замещение диатомовых осадков глинисто-кремнистыми отложениями и резкое сокращение численности диатомовых при движении в восточном направлении определяются следующими причинами:

- снижением концентрации SiO_2 в осадках при движении от периферии палеобассейна к центру ввиду значительного потребления диатомеями кремнекислоты в приконтинентальной зоне;

- локализацией в центральной и восточной частях региона крупных отрицательных структур Западно-Сибирской плиты и, соответственно, уменьшением возможностей для сохранения биокремнистых осадков;

- высокой интенсивностью поступления терригенного материала со стороны восточного и юго-восточного обрамления Западно-Сибирского моря.

Нельзя отрицать участие вулканогенного (пеплового) материала в накоплении кремнистых толщ эоцена Западной Сибири. Об этом косвенно свидетельствуют реликты пепловой структуры, наличие частиц вулканического пепла алевропелитовой разности, частично замещенного хлоритом и цеолитами, опалом, встреченные в опоковидных глинах и аргиллитах ряда горизонтов мезозоя и кайнозоя региона [Саркисян, Процветалова, 1964; Процветалова, Лагутенкова, 1968; Ван, 1973]. При этом всегда отмечаются обогащение “пеплогенных” горизонтов кремнеземом, наличие в них кремнистых остатков диатомей (в том числе в юрских и неокомских отложениях), радиолярий, спикул губок и глобул кремнезема различных стадий раскристаллизации.

Биокремнистые отложения протягиваются широкой полосой через все Зауралье, через нижнее течение р. Полуй и далее до полуострова Ямал. При этом разрывы и “утончение” единой литофациальной зоны фиксируются между г. Ивдель и р. Северная Сосьва, что, по всей видимости, связано с наличием крупной положительной структуры – Березовско-Мужинского выступа, который препятствовал нормальной циркуляции водных масс в этом районе.

Кремнистые осадки Западной Сибири практически не содержат группы известкового планктона, что, безусловно, индицирует определенные условия седиментации. Традиционно это связывается с климатической зональностью, что, весьма вероятно, является основной причиной. Однако большее значение для кременакопления приобретает уменьшение критической глубины карбонатакопления в зоне апвеллинга за счет высокой продукции органического вещества, что способствует растворению карбонатных скелетов организмов на меньших глубинах (De Wever, 1989), ввиду чего они не достигают дна и не разбавляют кремнистые осадки. Диатомовые илы приурочены к зонам, где растворение карбонатов идет быстрее, чем их образование, а также в местах, противопоказанных для других организмов, например вблизи больших рек, вследствие низкой солености, которая тем не менее не препятствует развитию диатомовых. А.П. Лисицын [1994] для обозначения зоны смешения речных и морских вод ввел термин “маргинальный фильтр”, под которым подразумевалась зона, где происходят качественные и количественные изменения в соотношении растворенных и взвешенных веществ, поступающих с континента. В до-

вольно узкой прибрежной зоне наблюдается трансформация растворенных и коллоидных веществ речного стока во взвешенные формы с последующим их осаждением на дно и исключением их из дальнейших процессов транспорта и аккумуляции осадков в открытых частях океана. Разница в концентрациях элементов в зоне маргинальных фильтров и эвфотической зоне (наиболее благоприятной для развития диатомовых) достигает десятки и даже сотни раз [Демина, 2013].

При анализе трансгрессивно-регрессивных трендов обращает на себя внимание соотношение основных компонентов в минеральном составе пород нижне- и верхнеирбитской подсвит [Дистанов, 1974]. В верхней части диатомитовой толщи по минеральному составу легкой и тяжелой фракций отмечается более низкое содержание опала и более высокое – глауконита. Можно предположить, что на определенном этапе имело место совместное действие ряда факторов, обуславливающих биогенное кремненакопление и одновременно ему препятствующих. Сохранение обширных связей с морскими бассейнами Мирового океана, апвеллинги и движения водных масс создавали благоприятные условия для развития кремнескелетной флоры, а наступление моря и повышение глубин эпиконтинентальных бассейнов препятствовали сохранению этих осадков, что привело к изменению характера накопления с биогенно-кремнистого на биогенно-глинисто-кремнистое.

География литофациальной зоны – значительная по протяженности и относительно узкая область, вытянутая вдоль Уральского хребта – является косвенным подтверждением генетической связи продуктивных толщ кремниевых пород Западной Сибири с полярным апвеллингом и устойчивой системой глубоководных течений. Различия в залегании литофациальных зон серовской и ирбитской свит указывают на расширение зоны кремненакопления в раннеэоценовое время. В центральной части равнины, восточнее меридиана п. Леуши, трехчастный разрез кремнистых пород (опоки–трепелы–диатомиты) перестает выдерживаться, что фиксирует восточную границу биогенного кремненакопления.

Начало регрессии, изменение солевого состава вод, утрата связи с морскими бассейнами Арктики на рубеже ипра–лутета вызывают кардинальные перестройки среды и знаменуют заключительный этап биогенного кремненакопления в палеогене. По географии распространения диатомитов и диатомитовых глин с комплексом *Puxilla oligocaenica* [Рубина, 1973] можно судить о колоссальном сокращении зоны биогенного кремненакопления и его переходе от сплошного к очаговому, вплоть до полного прекращения в Западной Сибири.

Присутствие в Западно-Сибирском бассейне борреальных групп радиолярий и диатомей Северной

Атлантики [Глезер, 1996] фиксирует последний этап в переносе борреальных водных масс и биоты из атлантического сектора океана в Западную Сибирь. Совпадение по времени (поздний мел–эоцен) обильного кремненакопления в Западной Сибири и центральных частей Арктического бассейна свидетельствует о хроногенетической общности кремнистых пород двух палеобассейнов. Закрытие Западно-Сибирского моря обусловило смещение зоны биогенного кремненакопления в этом регионе мира дальше на север, в Арктику, где факторы, его определявшие, продолжали свое действие [Ахметьев и др., 2010]. Как отмечали J.A. Barron с соавторами [2015], палеогеновое биогенное кремненакопление в Западной Сибири наряду с аналогичными процессами в Северной Атлантике в определенной мере предшествовало глобальному эоценовому этапу биогенного кремненакопления. Завершение биогенного кремненакопления в палеогене в Западной Сибири коррелирует с локальным отрицательным экстремумом эвстатической кривой (рис. 6). Комплекс диатомовых Западной Сибири близок по составу к комплексам, получившим наибольшее распространение в это время в Мировом океане, в частности в Северной Евразии [Baldauf, Barron, 1990; Ахметьев, Беньямовский, 2006]. Однако развитие диатомовой флоры в отличие от такового других регионов ограничено раннеэоценовым временем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биогенное кремненакопление в Западной Сибири происходило в четыре стадии, напрямую коррелирующими с мировыми эвстатическими трендами и событиями, предшествовало этапам глобального биогенного накопления и генетически связано с формированием кремнистых осадков в Северном море. Изменения в обстановках накопления, литологии пород, составе флоры и фауны позволяет выделить четыре стадии этого процесса.

1. Датская стадия – начало биогенного кремненакопления на довольно ограниченной территории в западной и центральной частях Западно-Сибирского моря.

2. Позднетанетская стадия – активизация биогенного кремненакопления, формирование отложенной серовской свиты.

3. Ипрская стадия – оптимум биогенного кремненакопления, связанный с максимальным в истории Западной Сибири трансгрессивным циклом, формирование отложений ирбитской свиты.

4. Ипр-лутетская стадия – завершение биогенного кремненакопления по мере закрытия Западно-Сибирского моря. Изменение характера накопления с площадного на очаговое, что устанавливается по распространению пород с диатомовым комплексом *Puxilla oligocaenica*.

Млн лет	Отдел	Подотдел	Ярус	Горизонт	Свита	Диатомовые комплексы	Климат	Седиментация	Трангрессивно-регрессивные циклы	Тектогенез и события в складчатом обрамлении	
42	Эоцен	Средний	Лютетский	Лютинворский	Ирбитская	<div><div><div><i>Puxilla oligocaenica</i> var. <i>tenuis</i></div><div><i>Puxilla gracilis</i> <i>Brightwellia hyperborea</i> <i>Coscinodiscus descrezens</i></div><div><i>Coscinodiscus payeri</i></div><div><i>Coscinodiscus uralensis</i>– <i>Hemiaulus proteus</i></div></div><div><i>Trinacria ventriculosa</i>-<i>Sheshukovia mirabilis</i></div></div>	Тропики и субтропики	Уменьшение доли биогенного кремнезема в осадках, увеличение привноса терригенного материала. Формирование глинистых илов	<div>Преграждение биогенного кремнезема</div> <div>Ослабление связей с морями Арктики и Тетиса, регрессия и обмеление бассейна, изменение солевого состава</div> <div>Крупнейшая в истории Западной Сибири трансгрессия, обширные морские связи с Арктическим и Тетическим бассейном</div> <div>Изменение характера кремнистой седиментации</div> <div>Резкое расширение морского бассейна, перекрывающего палеосибирию Западной Сибири, значительную часть современного Урала и бассейна Печоры</div> <div>РЕТМ</div>	<div>Эвстатическая кривая (Kominz et al., 2008)</div> <div>Регрессия Трансгрессия</div>	Сибирская платформа, Алтай, Казахстан - невысокие денудационные равнины. Урал - цепь небольших равнинных островов. Тектонический режим стабилен, с не большими и оспилляциями, при сохранении и преемственности структурного плана и тенденций развития
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49	Палеоцен	Ранний	Ипрский	Талицкий	Серовская	<div><i>Trinacria heibergiana</i></div>	Тропики и субтропики	Накопление глинистых, вблизи Урала кремнистых илов в морском бассейне с глубинами до 200 м и нормальной соленостью	Кратковременные связи с морями Арктики и Тетиса		
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57	Палеоцен	Поздний	Зеландский	Талицкий	Талицкая	<div><i>Trinacria heibergiana</i></div>	Тропики и субтропики	Накопление глинистых, вблизи Урала кремнистых илов в морском бассейне с глубинами до 200 м и нормальной соленостью	Кратковременные связи с морями Арктики и Тетиса		
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											

Рис. 6. Этапы биогенного кремнезема накопления в палеогене в Западной Сибири (стратиграфия по данным работ [Унифицированные..., 2001; Ахметьев, Беньямовский, 2006; Barron et al., 2015]).

Fig. 6. Stages of biogenic siliceous accumulation in Paleogene in West Siberia (stratigraphy according to [Unifitsirovannye..., 2001; Akhmet'ev, Ben'yamovskii, 2006; Barron et al., 2015]).

В соответствии с представлениями J. Kitchell и D. Clark [1982] биогенное кремненакопление в мел–кайнозой в пределах северных широт Мирового океана подразделяется на три фазы (первая – поздний мел и часть палеогена, вторая – эоцен, третья – миоцен). Это установлено по изменению состава биокремнистых илов в экваториальной Пацифике в течение интервала 51.0–33.7 млн лет (средний ипр–приабон) и в свою очередь отвечает восьми крупным событиям (ESAE 1–8). Интенсивность кремненакопления начала увеличиваться в ипре, достигла максимума к концу лютета и остановились на рубеже приабона/рюпеля. Анализ развития диатомей и силикофлагеллят в эоцене для масштабов всей планета [Barron et al., 2015] позволяет сделать вывод, что явление осаждения биогенного кремнезема в эоцене включает в себя четыре крупных осадочных события (four major depositional events), установленных по событиям диатомовой седиментации (Eocene diatom deposition events), соответствующих интервалу от 50 до 39 млн лет (приблизительно поздний ипр–поздний бартон). Как отмечает J.A. Barron [2015], раннепалеогеновое биогенное кремненакопление в Западной Сибири наряду с аналогичными процессами в Северной Атлантике в определенной мере предшествовало глобальному эоценовому этапу биогенного кремненакопления. В отличие от большинства крупных промышленных месторождений диатомитов в мире, относящихся к среднему и позднему кайнозою, диатомиты Зауралья формировались в палеоцен–эоценовое время, что роднит их с североморской формацией Fur [Pedersen, 2008]. Закономерно утверждать, что в Западной Сибири наблюдались аналогичные мировым события, однако с некоторым опережением, а само явление необходимо рассматривать как региональное проявление глобального процесса.

Наиболее значимые факторы интенсивного биогенного кремненакопления, происходившего в пределах Западной Сибири в палеоцене и эоцене, – обширные морские связи с бассейнами Мирового океана – Арктическим и Тетическим, апвеллинги и устойчивые системы течений, благоприятный тектонический режим, слабое терригенное разбавление осадков. Резкое увеличение привноса растворенного SiO_2 речным стоком связывается с событием РЕТМ, которое определило активизацию континентального выветривания в пределах всего складчатого обрамления Западно-Сибирского моря [Penman, 2016]. В условиях теплого гумидного климата даже с относительно небольших участков суши, соответствующих Уралу, снос терригенного материала мог быть значительным. Существовавшая речная сеть обеспечивала снос осадочного материала через механизм “маргинальных фильтров”, что несколько уменьшало общее поступление обломочного материала в бассейн, но не препятствовало поступлению растворенной кремнекислоты.

Вероятно, главные различия между северо-западной и юго-восточной частями бассейна в эпоху накопления диатомовых илов заключались в различном химизме вод южных и северных морей и объемов терригенного сноса. Сочетание глубины бассейна вдоль Урала и минимального привноса терригенного материала обусловило значительную мощность зоны фотосинтеза, что вместе с избытком биогенных веществ благоприятствовало пышному развитию здесь диатомовой флоры. Повышенное содержание кремнекислоты в холодных водах, с одной стороны, определило высокую продуктивность кремнескелетной флоры и лучшую сохранность диатомовых илов, с другой – препятствовало развитию карбонат-скелетных организмов. Напротив, в восточной части Западно-Сибирского бассейна вследствие влияния теплых тетических водных масс, содействовавших меньшему количеству кремнекислоты и повышенное – карбоната кальция (подтверждается наличием планктонных фораминифер), створки диатомовых растворялись в большей степени, чем в других частях бассейна, и мощная толща биокремнистых отложений не формировалась.

Авторы выражают искреннюю признательность И.И. Нестерову, Т.В. Орешкиной и Н.И. Афанасьевой за ценные советы и рекомендации, и за обсуждение результатов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Г.Н., Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Радионова Э.П. (2012) Диатомеи и диноцисты в интервале палеоцена–раннего эоцена в биокремнистых фациях среднего Зауралья. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **20**(4), 68–94.
- Амон Э.О. (1990) О границе мела и палеогена в среднем и южном Зауралье по данным стратиграфического распространения комплексов микрофауны. *Проблемы стратиграфии Урала. Мезозой и кайнозой*. Свердловск: УрО АН СССР, 25–39.
- Амон Э.О., Васильева О.Н., Железко В.И. (2003) Стратиграфия талицкого горизонта (палеоцен) в Среднем Зауралье. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **11**(3), 75–90.
- Андреев Ю.Ф. (1960) О связи линейно-грядового рельефа с тектоническими структурами на севере Западной Сибири (в области развития многолетней мерзлоты). *Тр. ВНИГРИ. Геология и геохимия*, **3**(IX), 76–94.
- Астапов А.П., Файбусович Я.Э. (1998) Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 200 000 листов Q-41-71, 72, XXIV, XXVII, XXVIII, XXX, XXXII, XXXIV, XXXVI; Q-42-85, 86, XXV, XXXI и геологическому доизучению масштаба 1 : 200 000 листов Q-42-61, 62, 73, 74, Q-41-XXIX, XXXV (Нижнеобская площадь). Тюмень: ЗапСибГеоНАЦ, 278–325.
- Ахметьев М.А., Александрова Г.Н., Амон Э.О., Беньямовский В.Н., Бугрова Э.М., Васильева О.Н., Глезер З.И., Железко В.И., Запорожец Н.И., Козлов

- ва Г.Э., Николаева И.А., Орешкина Т.В., Панова Л.А., Радионова Э.П., Стрельникова Н.И., Яковлева А.И. (2001) Биостратиграфия морского палеогена Западно-Сибирской плиты. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **8**(2), 30-57.
- Ахметьев М.А., Александрова Г.Н., Беньямовский В.Н., Витухин Д.И., Глезер З.И., Гнибиденко З.Н., Дергачев В.Д., Доля Ж.А., Запорожец Н.И., Козлова Г.Э., Кулькова И.А., Николаева И.А., Овечкина М.Н., Радионова Э.П., Стрельникова Н.И. (2004) Новые данные по морскому палеогену юга Западно-Сибирской плиты. Ст. 1. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **12**(1), 49-75.
- Ахметьев М.А., Беньямовский В.Н. (2006) Палеоцен и эоцен российской части Евразии. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **14**(1), 69-93.
- Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Яковлева А.И., Александрова Г.Н., Беньямовский В.Н., Орешкина Т.В., Гнибиденко З.Н., Доля Ж.А. (2010) Сравнительный анализ разрезов и биоты морского палеогена Западной Сибири и Арктики. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **18**(6), 78-103.
- Бакиева Л.Б. (2003) Палинология и стратиграфия палеогена Зауральского и Центрального районов Западно-Сибирской равнины. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень: Тюм. гос. нефтегазовый ун-т, 28 с.
- Барабошкин Е.Ю., Найдин Д.П., Беньямовский В.Н., Герман А.Б., Ахметьев М.А. (2007) Проливы Северного полушария в мелу и палеогене. М.: Изд-во геологического ф-та МГУ, 182 с.
- Беньямовский В.Н. (2007) Палеогеновые меридиональные проливы Северной Евразии. М.: МГУ, 80-119.
- Беньямовский В.Н., Ахметьев М.А., Алексеев А.С., Александрова Г.Н., Дергачев В.Д., Доля Ж.А., Глезер З.И., Запорожец Н.И., Козлова Г.Э., Кулькова И.А., Николаева И.А., Овечкина М.Н., Радионова Э.П., Стрельникова Н.И. (2002) Морской терминальный мел и палеоген южной части Западной Сибири. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, **77**(5), 28-48.
- Беньямовский В.Н., Васильева О.Н., Левина А.П., Пронин В.Г. (1993) Палеоген южного Зауралья. Ст. 1. Палеоген в южной части Тургайского прогиба. *Изв. вузов. Геол. и разведка*, (6), 22-36.
- Бочков Е.П. (1969) К истории развития диатомовой флоры Западной Сибири. *Тр. СНИИГИМС. Материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири*, **84**, 131-133.
- Булатова З.И., Горбовец А.Н., Кисельман Э.Н., Ушакова М.Н. (1967) К палеоэкологии позднемеловых и палеогеновых фораминифер и радиолярий Западно-Сибирской низменности. *Тр. СНИИГИМС. Материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири*, **55**, 128-158.
- Ван А.Н. (1973) Мезозойско-палеогеновый вулканизм на территории Западно-Сибирской низменности. *Докл. АН СССР*, **210**(5), 1156-1159.
- Васильева О.Н. (1990) Палинология и стратиграфия морских отложений палеогена Южного Зауралья. Свердловск: УрО АН СССР, 54 с.
- Генералов П.П., Боровский В.В. (1999) Кайнозойский этап развития Западно-Сибирской геосинеклизы. Масштаб 1 : 1 000 000. Тюмень: ЗапСибГеоНАЦ, 47 с.
- Генералов П.П., Дрожащих Н.Б. (1987) Опалиты эоцена Западной Сибири. *Опалиты Западной Сибири*. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 3-10.
- Глезер З.И. (1974) Диатомовые водоросли мезокайнозоя и их роль в образовании кремнистых пород. *Сырьевая база кремнистых пород СССР*. М.: Наука, 30-34.
- Глезер З.И. (1996) Проблемы зональной стратиграфии эоцена по кремневому микропланктону (на примере эоцена Прикаспийской впадины). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **4**(4), 83-94.
- Гурова Т.И., Казаринов В.П. (1962) Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазосностью М.: Гостоптехиздат, 296 с.
- Демина Л.Л. (2013) Оценка роли живого вещества в седиментации микроэлементов в геохимически различных районах океана. *Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Мат-лы VII Всерос. литолог. совещ.* Новосибирск: ИНГ СО РАН, 263-265.
- Дистанов У.Г. (1974) Особенности кремненакопления в морских платформенных бассейнах. *Сырьевая база кремнистых пород СССР*. М.: Наука, 13-17.
- Казанский Ю.П., Казаринов В.П., Резапова Н.М. (1965) Развитие идей А.Д. Архангельского о происхождении кремнистых пород. *Геол. и геофиз.*, (9), 84-99.
- Казаринов В.П., Казанский Ю.П. (1969) Кремнистые породы. Выветривание и литогенез. М.: Недра, 456 с.
- Кеннет Д.П. (1987) Морская геология. Т. 1. М.: Мир, 396 с.
- Козлова Г.Э. (1999) Радиолярии палеогена бореальной области России. СПб.: ВНИГРИ, 323 с.
- Козлова Г.Э., Стрельникова Н.И. (1984) Значение разреза Усть-Маньинской скважины 19-У для зонального расчленения палеогена Западной Сибири. *Среда и жизнь на рубежах эпох кайнозоя в Сибири и на Дальнем Востоке*. Новосибирск: Наука, 70-78.
- Лавров В.В. (1957) Морской палеоген и его континентальные эквиваленты. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 118 с.
- Лисицын А.П. (1994) Маргинальный фильтр океанов. *Океанология*, **34**(5), 735-747.
- Любомирова К.А. (1975) Развитие флоры и растительности в мелу и палеогене. *Палеогеография севера СССР в мелу и палеогене*. Л.: Недра, 69-89.
- Орешкина Т.В., Александрова Г.Н., Козлова Г.Э. (2004) Биотические события раннего эоцена (разрез Камышлов, Свердловская область). *Фанерозой Волго-Уральской, Прикаспийской и Северо-Кавказской нефтегазоносных провинций: стратиграфия, литология, палеонтология. Мат-лы II региональной науч.-практ. конф.* Саратов: Изд-во НВ НИИГГ, 79-81.
- Орешкина Т.В., Радионова Э.П. (2005) Динамика диатомей краевых бассейнов Бореального Перитетиса. *Мат-лы. XIII Всерос. микропалеонт. совещ.* М.: ГЕОС, 147-149.
- Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Александрова Г.Н. (2008) Прямая корреляция зональных шкал бореального палеогена по диатомеям и диноцистам (по материалам скв. 19-У, пос. Усть-Манья, восточный склон Северного Урала). *Новости палеонтологии и стратиграфии*, **49**(10-11), 347-350.
- Процветалова Т.Н., Лагутенкова Н.С. (1968) О следах вулканической деятельности в отложениях неокома Западно-Сибирской низменности. *Изв. вузов. Геология и разведка*, (10), 135-136.

- Прошкина-Лавренко А.И. (1974) Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука, 402 с.
- Радионова Э.П., Орешкина Т.В., Хохлова И.Г., Бенямовский В.Н. (1994) Эоценовые отложения северо-восточного борта Днепровско-Донецкой впадины (зональная стратиграфия и циклический анализ). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **2**(6), 85-102.
- Рубина Н.В. (1973) Палеоальгологическое обоснование стратиграфии морских и континентальных отложений палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской низменности. *Морской и континентальный палеоген Сибири*. Новосибирск: Наука, 87-95.
- Рудкевич М.Я. (1980) Тектоника и генезис Западно-Сибирской плиты в свете новых геолого-геофизических данных. *Тектоника Сибири*, **9**, 23-30.
- Саркисян С.Г., Процветалова Т.Н. (1964) Некоторые петрографические особенности битуминозных аргиллитов марьяновской свиты (Западно-Сибирская низменность). *Изв. вузов. Геология и разведка*, (2), 56-60.
- Стефановский В.В., Бородин А.В. (2002) Опорный разрез эоплейстоцена и нижнего неоплейстоцена южного Зауралья. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **10**(4), 79-90.
- Стефановский В.В., Бородин А.В., Струкова Т.В. (2003) Корреляция аллювиальных и озерных отложений верхнего неоплейстоцена южного Зауралья. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **11**(4), 87-100.
- Стрельникова Н.И. (1974) Диатомеи позднего мела. Т. 201. М.: Наука, 201 с.
- Умова Л.А., Цаур Г.И., Шатров В.П. (1968) Палеогеография Восточного склона Урала и Зауралья в меловое и палеоценовое время. Свердловск: ИГиГ УФАИ СССР 83 с.
- Унифицированные региональные стратиграфические схемы палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской плиты и объяснительная записка к ним (2001) (Ред.: А.Е. Бабушкин, В.С. Волкова). Новосибирск: СНИИГиМС и ИГНиГ СО РАН, 83 с.
- Хворова И.В. (1974) Главные структурно-фациальные условия кремненакопления в фанерозое. *Сырьевая база кремнистых пород СССР*. М.: Наука, 7-13.
- Черепанов Ю.П. (1983) Геологическое строение нижнего Прииртышья. Отчет о результатах групповой съемки масштаба 1 : 200 000 листов О-41-V, XII, XVIII, XXIV, XXXVI, О-42-I-XIV, XVI-XVIII, XXIII, Р-42-XXXI-XXXIII и геологического доизучения масштаба 1 : 200 000 листов Р-42-XXXIV-XXXVI. Тюмень: Главное Тюменское ПГУ; Тюменская КГРЭ, 3022 с.
- Чирва С.А., Любомирова К.А. (1973) Корреляция морского и континентального палеогена на севере Западной Сибири. *Морской и континентальный палеоген Сибири*. Новосибирск: Наука, 69-77.
- Шацкий С.Б. (1978) Основные вопросы стратиграфии и палеогеографии палеогена Сибири. *Палеоген и неоген Сибири*. Новосибирск: Наука, 3-21.
- Шацкий С.Б., Александрова Л.В., Богдашев В.А. (1973) Палеоген центральных районов Западной Сибири. *Морской и континентальный палеоген Сибири*. Новосибирск: Наука, 4-39.
- Яковлева А.И., Александрова Г.Н. (2014) Восстановление палеоэкологических обстановок люлинворского времени (эоцен) на юге Западно-Сибирского морского бассейна по палинологическим данным. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, **89**(3), 33-52.
- Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., Beniamovsky V.N., Aleksandrova G.A., Yakovleva A.I., Oreshkina T.V. (2012) Open and semi-closed Paleogene marine systems in Northeastern Peri-Tethys: stable and transitional biostratigraphic, paleogeographic and paleoclimatological aspects. *Austrian Journal of Earth Sciences*, **105**(1), 50-67.
- Baldauf J.G., Barron J.A. (1990) Evolution of biosiliceous sedimentation patterns for the Eocene through Quaternary: paleoceanographic response to polar cooling. *Geologic History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. (Eds: J. Thiede, U. Beil). Dordrecht, Kluwer Academic Publication Group, 575-608.
- Barron J.A., Stickley C.E., Bukry D. (2015) Paleoceanographic, and paleoclimatic constraints on the global Eocene diatom and silicoflagellate record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **422**, 85-100.
- Calvert S.E. (1974) Deposition and diagenesis of silica in marine sediments. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment*, (1), 273-299.
- Cope J.T., Winguth A. (2011) On the sensitivity of ocean circulation to arctic freshwater input during the Paleocene/Eocene Thermal Maximum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **306**, 82-94.
- Crouch E.M., Brinkhuis H. (2005) Environmental change across the Paleocene-Eocene transition from eastern New Zealand: a marine palynological approach. *Marine Micropaleontology*, **56**(3/4), 138-160.
- De Wever P. (1989) Radiolarians, Radiolarites, and Mesozoic Paleogeography of the Circum-Mediterranean Alpine Belts. *Siliceous deposits of the Tethys and Pacific regions* (Eds: J.R. Hein, J. Obradović). N. Y., Springer Verlag, 31-49.
- Fenner J.M. (1994) Diatoms of the Fur formation, their taxonomy and biostratigraphic interpretation – results from the Harre borehole. Denmark. *Aarhus Geoscience*, (1), 99-163.
- Glezer Z.I. (1996) Evolutionary relationship of the Eocene diatom flora to some abiotic factors. *Stratigr. Geol. Correl.*, **4**(3), 269-276.
- Isaacs C.M., Pisciotto K.A., Garrison R.E. (1983) Chapter 15. Facies and diagenesis of the Miocene Monterey Formation, California: A summary. *Siliceous Deposits in the Pacific Region, Developments in Sedimentology* (Eds: A. Iijima, J.R. Hein, R. Siever). Amst., Elsevier, **36**, 247-282.
- Kitchell J.A., Clark D.Z. (1982) Late Cretaceous-Paleogene paleogeography and paleocirculation: evidence of north polar upwelling. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, **40**(1-3), 135-165.
- Koizumi I. (1983) Sedimentary environments of Neogene diatomaceous sediments, west coast of Japan. *Siliceous Deposits in the Pacific Region, Developments in Sedimentology* (Eds: A. Iijima, J.R. Hein, R. Siever). Amst., Elsevier, **36**, 347-360.
- Kominz M.A., Browning J.V., Miller K.G., Sugarman P.J., Mizintseva S., Scotese C.R. (2008) Late Cretaceous to Miocene sea-level estimates from the New Jersey and Delaware coastal plain coreholes: An error analysis. *Basin Res.*, **20**, 211-226.
- Kozlova G.N., Strel'nikova N.I., Khokhlova I.E. (1998) Marine Paleogene of south-west Pre-Urals region: the si-

- liceous microplankton stratigraphy (holes SP-1 and 148). *The Urals: fundamental problems of geodynamics and stratigraphy* (Eds: A.L. Knipper, S.A. Kurenkov, M.A. Semikhatov). Moscow, RAS, Geological Institute, transactions **500**, 193-205.
- Laing T.E. (1999) Diatoms as indicators of past environmental and climatic changes in the Siberian Arctic. Ph.D. thesis. Ontario, Queen's University Kingston, 235 p.
- Lazarus D. (2013) Paleooceanography, Biological Proxies: Radiolarians and Silicoflagellates Reference. Encyclopedia of Quaternary Science. Second Ed. Berlin, Museum für Naturkunde, 830-840.
- Leclaire L. (1974) Late Cretaceous and Cenozoic pelagic deposits – paleoenvironment and paleooceanography of the central western Indian Ocean. Initial reports of the Deep Sea Drilling Project (Eds: E.S.W. Simpson et al). Vol. 25. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 481-513.
- Mitlenner A.G. (1996) Palaeoenvironments in the North Sea Basin around the Paleocene-Eocene boundary: evidence from diatoms and other siliceous microfossils. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, **101**, 255-273.
- Moore T.C. Jr., Kamikuri S., Erhardt A.M., Baldauf J., Coxall H.K., Westerhold T. (2015) Radiolarian stratigraphy near the Eocene-Oligocene boundary. *Marine Micropaleontology*, **116**, 50-62.
- Oreshkina T.V., Oberhänsli H. (2003) Diatom turnover in the early paleogene diatomite of the Sengiley section, Middle Povolzh'e, Russia: a response to Initial Eocene. *Thermal Maximum. Causes and consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene* (Eds: S.L. Wing, P.D. Gingerich, B. Schmitz, E. Thomas). Geological Society of America, Spes. Pap. 369, 69-180.
- Oreshkina T.V., Aleksandrova G.N., Kozlova G.E. (2004) Early Eocene marine planktonic record of the East Urals margin (Sverdlovsk region): biostratigraphy and paleoenvironments. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, **234**(1-3), 201-222.
- Pedersen S.A.S. (2008) Paleogene diatomite deposits in Denmark: geological investigations and applied aspects. *Bulletin of Geological Survey of Denmark and Greenland*, **15**, 21-24.
- Penman D.E. (2016) Silicate weathering and North Atlantic silica burial during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum. *Geology*, **44**(9), 731-734.
- Radionova E.P., Beniamovsky V.N., Yakovleva A.I., Muzylöv N.G., Oreshkina T.V., Shcherbinina E.A., Kozlova G.E. (2003) Early Paleogene transgressions: Stratigraphical and sedimentological evidence from the northern Peri-Tethys. *Geological Society of America Special Papers*, **369**, 239-261.
- Radionova E.P., Khokhlova I.E., Beniamovsky V.N., Shcherbinina E.A., Yakovleva A.I., Sadchikova T.A. (2001) Paleocene/Eocene transition in the Northeastern Peri-Tethys area: Sokolovskiy key section of the Turgay passage (Kazakhstan). *Bull. Soc. Geol. France*, **172**(2), 245-256.
- Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. (1990) The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, 747 p.
- Smol J.P., Stoermer E.F. (2010) The Diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences. Second Ed. Cambridge University Press, 667 p.
- Wise S.W., Weaver F.M. (1974). Chertification of oceanic sediments. *Pelagic Sediments on Land and Under the Sea. Vol. 1*. (Eds: K.J. Hsü, H.C. Jenykn). London, Int. Assoc. Sediment., 301-326.

REFERENCES

- Akhmet'ev M.A., Aleksandrova G.N., Ben'yamovskii V.N., Vitukhin D.I., Zaporozhets N.I., Radionova E.P., Glezer Z.I., Nikolaeva I.A., Gnibidenko Z.N., Kul'kova I.A., Dergachev V.D., Dolya Zh.A., Kozlova G.E., Oveshki-na M.N., Strel'nikova N.I. (2004) New data on the marine Paleogene of the southern part western South-Western Siberian plate. Paper 1. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **12**(1), 58-84. (In Russian)
- Akhmet'ev M.A., Aleksandrova G.N., Ben'yamovskii V.N., Zaporozhets N.I., Oreshkina T.V., Radionova E.P., Yakovleva A.I., Amon E.O., Vasil'eva O.N., Zhelezko V.I., Bugrova E.M., Glezer Z.I., Nikolaeva I.A., Panova L.A., Kozlova G.E., Strel'nikova N.I. (2001) Biostratigraphy of the marine paleogene in the West Siberian plate. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **9**(2), 132-158. (In Russian)
- Akhmet'ev M.A., Zaporozhets N.I., Yakovleva A.I., Aleksandrova G.N., Ben'yamovskii V.N., Oreshkina T.V., Gnibidenko Z.N., Dolya Z.A. (2010) Comparative analysis of marine Paleogene sections and biota from West Siberia and the Arctic region. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **18**(6), 635-659. (In Russian)
- Akhmet'ev M.A., Ben'yamovskii V.N. (2006) The Paleocene and Eocene in the Russian part of West Eurasia. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **14**(1), 49-72. (In Russian)
- Akhmet'ev M.A., Zaporozhets N.I., Ben'yamovskii V.N., Aleksandrova G.A., Yakonleva A.I., Oreshkina T.V. (2012) Open and semi-closed Paleogene marine systems in Northeastern Peri-Tethys: stable and transitional biostratigraphic, paleogeographic and paleoclimatological aspects. *Austrian J. Earth Sci.*, **105**(1), 50-67.
- Aleksandrova G.N., Oreshkina T.V., Yakovleva A.I., Radionova E.P. (2012) Late Paleocene-Early Eocene diatoms and dinocysts from biosiliceous facies of the middle Trans-Urals region. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **20**(4), 380-404. (In Russian)
- Amon E.O. (1990) About the Cretaceous-Paleogene boundary in the Middle and Southern Trans-Urals according stratigraphic distribution of microfauna systems. *Problemy stratigrafii Urals. Mezozoi i kainozoi* [Problems of Urals stratigraphy]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 25-39. (In Russian)
- Amon E.O., Vasil'eva O.N., Zhelezko V.I. (2003) Stratigraphy of the Talitsa horizon (paleocene) in the middle Trans-Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **11**(3), 278-292. (In Russian)
- Andreev Yu.F. (1960) About the relationship between linear-ridge relief with tectonic structures in the north of Western Siberia (in the area of the permafrost development). *Tr. VNIGRI, Geologiya i geokhimiya*, **3**(9), 76-94. (In Russian)
- Astapov A.P., Faibusovich Ja.E. (1998) *Otchet po gruppovoi geologicheskoi s'emke masshtaba 1 : 200 000 listov Q-41-71, 72, XXIV, XXVII, XXVIII, XXX, XXXII, XXX-IV, XXXVI; Q-42-85, 86, XXV, XXXI i geologicheskomu doizucheniyu masshtaba 1 : 200 000 listov Q-42-61, 62, 73, 74, Q-41-XXIX, XXXV (Nizhneobskaya ploschad')* [Report on a group of geological survey of scale 1 : 200 000 sheets Q-41-71, 72, XXIV, XXVII, XXVIII, XXX,

- XXXII, XXXIV, XXXVI; Q-42-85, 86, XXV, XXXI and geological additional study scale 1 : 200 000 sheets Q-42-61, 62, 73, 74, Q-41-XXIX, XXXV (Lower Ob area)]. Tyumen', ZapSibGeoNATs Publ., 278-325. (In Russian)
- Bakieva L.B. (2003) *Palinologiya i stratigrafiya paleogena Zaural'skogo i Tsentral'nogo raionov Zapadno-Sibirskoi ravniny* Abstract Dis. cand. geol.-min. nauk [Palynology and stratigraphy of the Paleogene of Transuralian and Central regions of the West Siberian Plain. Abstr. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Tyumen', Tyumen' Oil and Gas University. 28 p. (In Russian)
- Baldauf J.G., Barron J.A. (1990) Evolution of biosiliceous sedimentation patterns for the Eocene through Quaternary: paleoceanographic response to polar cooling. *Geologic History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Eds: J. Thiede, U. Beil. Dordrecht, Kluwer Academic Publication Group, 575-608.
- Baraboshkin E.J., Naidin D.P., Ben'yamovskii V.N., Herman A.B., Akhmet'ev M.A. (2007) *Prolivy severnogo polushariya v melu i paleogene* [Northern hemisphere seaways in Cretaceous and Paleogene]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 182 p. (In Russian)
- Barron J.A., Stickley C.E., Bukry D. (2015) Paleoceanographic, and paleoclimatic constraints on the global Eocene diatom and silicoflagellate record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **422**, 85-100.
- Ben'yamovskii V.N. (2007) Paleogene meridional straits of Northern Eurasia. *Prolivy severnogo polushariya v melu i paleogene* [Straits of the Northern Hemisphere in the Cretaceous and Paleogene]. Moscow, Moscow St. Univ., 80-119. (In Russian)
- Ben'yamovskii V.N., Akhmet'ev M.A., Alekseev A.S., Aleksandrova G.N., Dergachev V.D., Dolya Zh.A., Glezer Z.I., Zaporozhets N.I., Kozlova G.E., Kul'kova I.A., Nikolaeva I.A., Ovechkina M.N., Radionova E.P., Strel'nikova N.I. (2002) Marine terminal Cretaceous and Paleogene southern part of Western Siberia. *Bull. MOIP. Geol. Ser.*, **77**(5), 28-48. (In Russian)
- Ben'yamovskii V.N., Vasil'eva O.N., Levina A.P., Pronin V.G. (1993) Paleogene of Southern Trans-Urals. Paper 1. Paleogene in the southern part of the Turgai seaway. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. i Razvedka*, (6), 22-36. (In Russian)
- Bochkov E.P. (1969) About the history of diatom flora of Western Siberia. *Materialy po stratigrafii i paleontologii Sibiri*, Tr. SNIIGGIMS, V. 84 [Proc. 84th of SNIIGGIMS "Materials on the stratigraphy and paleontology of Siberia"], 131-133. (In Russian)
- Bulatova Z.I., Gorbovets A.N., Kisel'man Je.N., Ushakova M.N. (1967) To the paleoecology of Late Cretaceous and Paleogene foraminifers and radiolarians West Siberian Plain. Materials on the stratigraphy and paleontology of Siberia. Tr. SNIIGGIMS, V. 55, *Materialy po stratigrafii i paleontologii Sibiri* [Proc. 55th of SNIIGGIMS "Materials on the stratigraphy and paleontology of Siberia"], 128-158. (In Russian)
- Calvert S.E. (1974) Deposition and diagenesis of silica in marine sediments. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment*, (1), 273-299.
- Cherepanov Yu.P. (1983) *Geologicheskoe stroenie nizhnego Priirtysh'ya. Otchet o rezul'tatakh gruppovoi s'emki masshtaba 1 : 200 000 listov O-41-V, XII, XVIII, XXIV, XXXVI, O-42-I-XIV, XVI-XVIII, XXIII, P-42-XXXI i geologicheskogo doizucheniya masshtaba 1 : 200 000 listov P-42-XXXIV-XXXVI* [Geological structure of the Lower Irtysh. Report on the results of the survey at a scale of 1 : 200 000 sheets O-41-V, XII, XVIII, XXIV, XXXVI, O-42-I-XIV, XVI-XVIII, XXIII, P-42-XXXI-XXXIII and geological additional study at a scale of 1 : 200 000 sheets P-42-XXXIV-XXXVI]. Tyumen', Glavnoe Tyumenskoe PGU Publ., 3022 p. (In Russian)
- Chirva S.A., Lyubomirova K.A. (1973) The correlation of marine and continental Paleogene in the north of Western Siberia. *Morskoi i kontinental'nyi paleogen Sibiri* [Marine and continental Paleogene of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 69-77. (In Russian)
- Cope J.T., Winguth A. (2011) On the sensitivity of ocean circulation to arctic freshwater input during the Paleocene/Eocene Thermal Maximum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **306**, 82-94.
- Crouch E.M., Brinkhuis H. (2005) Environmental change across the Paleocene-Eocene transition from eastern New Zealand: a marine palynological approach. *Marine Micropaleontology*, **56**(3/4), 138-160.
- De Wever P. (1989) Radiolarians, Radiolarites, and Mesozoic Paleogeography of the Circum-Mediterranean Alpine Belts. Siliceous deposits of the Tethys and Pacific regions. Eds: J.R. Hein, J. Obradović. N. Y., Springer Verlag, 31-49.
- Demina L.L. (2013) Assessment of the living matter role in the sediment of trace elements in geochemical different parts of the ocean. *Osadochnye basseiny, sedimentatsionnye i postsedimentatsionnye processy v geologicheskoi istorii. Mat-ly VII Vserossiiskogo litologicheskogo soveshchaniya* [Proc. of 7th All-Russia Lithological Conference "Sedimentary basins, sedimentation and post-sedimentation processes in geological history"]. Novosibirsk, INGG SO RAS, 263-265. (In Russian)
- Distanov U.G. (1974) Features of siliceous sedimentation in marine platform basins. *Syr'evaya baza kremnistykh porod SSSR* [Raw material base of siliceous rocks of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 13-17. (In Russian)
- Fenner J.M. (1994) Diatoms of the Fur formation, their taxonomy and biostratigraphic interpretation – results from the Harre borehole. Denmark. *Aarhus Geoscience*, (1), 99-163.
- Generalov P.P., Borovskii V.V. (1999) *Kainozoiskii etap razvitiya Zapadno-Sibirskoi geosineklizy. Masshtab 1 : 1 000 000* [Cenozoic stage of development of the West Siberian geosyncline. Scale 1 : 1 000 000]. Tyumen', ZapSibGeoNATs Publ., 47 p. (In Russian)
- Generalov P.P., Drozhashchikh N.B. (1987) Eocene opalite of Western Siberia. *Opalitiy Zapadnoi Sibiri* [Opalites of Western Siberia]. Tyumen', ZapSibNIGNI Publ., 3-10. (In Russian)
- Glezer Z.I. (1996) Problems of Eocene siliceous phytoplankton zonation (exemplified by the Caspian Eocene deposits). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **4**(4), 392-402. (In Russian)
- Glezer Z.I. (1974) Diatoms of Mesozoic and Cenozoic and their role in the formation of siliceous rocks. *Syr'evaya baza kremnistykh porod SSSR* [Raw material base of siliceous rocks of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 30-34. (In Russian)
- Glezer Z.I. (1996) Evolutionary relationship of the Eocene diatom flora to some abiotic factors. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **4**(3), 269-276.
- Gurova T.I., Kazarinov V.P. (1962) *Litologiya i paleo-*

- geografiya Zapadno-Sibirskoi nizmennosti v svyazi s neftegazonosnost'yu* [Lithology and paleogeography of the West Siberian Plain in connection with oil-gas productivity]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 296 p. (In Russian)
- Isaacs C.M., Pisciotto K.A., Garrison R.E. (1983) Facies and diagenesis of the Miocene Monterey Formation, California: A summary. Chapter 15. *Siliceous Deposits in the Pacific Region, Developments in Sedimentology*. Eds: A. Iijima, J.R. Hein, R. Siever. Amst., Elsevier, **36**, 247-282.
- Kazanskii Yu.P., Kazarinov V.P., Rezapova N.M. (1965) The development of AD Archangelsky's ideas of the origin of siliceous rocks. *Geol. Geofiz.* (9), 84-99. (In Russian)
- Kazarinov V.P., Kazanskii Yu.P. (1969) *Kremnistye porody. Vyvetrivanie i litogenez* [Siliceous rocks. Weathering and Lithogenesis]. Moscow, Nedra Publ., 456. (In Russian)
- Kennett J.P. (1982) *Marine Geology*. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 813 p.
- Khvorova I.V. (1974) Main structural-facies conditions of silicon accumulation in the Phanerozoic. *Syr'evaya baza kremnistykh porod SSSR* [Raw material of siliceous rocks of USSR]. Moscow, Nauka Publ., 7-13. (In Russian)
- Kitchell J.A., Clark D.Z. (1982) Late Cretaceous-Paleogene paleogeography and paleocirculation: evidence of north polar upwelling. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **40**(1-3), 135-165.
- Koizumi I. (1983) Sedimentary environments of Neogene diatomaceous sediments, west coast of Japan. *Siliceous Deposits in the Pacific Region, Developments in Sedimentology*. Eds: A. Iijima, J.R. Hein, R. Siever. Amst., Elsevier, **36**, 347-360.
- Kominz M.A., Browning J.V., Miller K.G., Sugarman P.J., Mizintseva S., Scotese C.R. (2008) Late Cretaceous to Miocene sea-level estimates from the New Jersey and Delaware coastal plain coreholes: An error analysis. *Basin Res.*, **20**, 211-226.
- Kozlova G.E. (1999) *Radiolyarii paleogena boreal'noi oblasti Rossii* [Paleogene Radiolarians in boreal region of Russia]. St.Petersburg, VNIGRI Publ., 323 p. (In Russian)
- Kozlova G.E., Strel'nikova N.I. (1984) The value of the Ust'-Man'inskaya well 19-U for the dismemberment of the Paleogene zone of Western Siberia. *Sreda i zhizn' na rubezhakh epokh kainozoya v Sibiri i na Dal'nem Vostoke* [Environment and life at the boundary of the Cenozoic epochs in Siberia and the Far East]. Novosibirsk, Nauka Publ., 70-78. (In Russian)
- Kozlova G.N., Strel'nikova N.I., Khokhlova I.E. (1998) Marine Paleogene of south-west Pre-Urals region: the siliceous microplankton stratigraphy (holes SP-1 and 148). *The Urals: fundamental problems of geodynamics and stratigraphy*. Eds: A.L. Knipper, S.A. Kurenkov, M.A. Semikhatov. Moscow, RAS, Geological Institute, transactions **500**, 193-205.
- Laing T.E. (1999) Diatoms as indicators of past environmental and climatic changes in the Siberian Arctic. Ph.D. thesis. Ontario, Queen's University Kingston, 235 p.
- Lavrov V.V. (1957) *Morskoi paleogen i ego kontinental'nye ekvivalenty* [Marine Paleogene and its continental equivalents]. Alma-Ata, AN KazSSSR Publ., 118 p. (In Russian)
- Lazarus D. (2013) Paleooceanography, Biological Proxies: Radiolarians and Silicoflagellates Reference. Encyclopedia of Quaternary Science. Second Ed. Berlin, Museum für Naturkunde, 830-840.
- Leclaire L. (1974) Late Cretaceous and Cenozoic pelagic deposits – paleoenvironment and paleoceanography of the central western Indian Ocean. Initial reports of the Deep Sea Drilling Project. Eds: E.S.W. Simpson et al. Vol. 25. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 481-513.
- Lisitzyn A.P. (1994) The marginal filter of oceans. *Okeanologiya*, **34**(5), 735-747. (In Russian)
- Lyubomirova K.A. (1975) Development of flora and vegetation in the Cretaceous and Paleogene. *Paleogeografiya severa SSSR v melu i paleogene*. [Paleogeography of North USSR during Cretaceous and Paleogene]. Leningrad, Nedra Publ., 69-89. (In Russian)
- Mitlehner A.G. (1996) Palaeoenvironments in the North Sea Basin around the Paleocene-Eocene boundary: evidence from diatoms and other siliceous microfossils. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, **101**, 255-273.
- Moore T.C. Jr., Kamikuri S., Erhardt A.M., Baldauf J., Coxall H.K., Westerhold T. (2015) Radiolarian stratigraphy near the Eocene–Oligocene boundary. *Marine Micropaleontology*, **116**, 50-62.
- Oreshkina T.V., Aleksandrova G.N., Kozlova G.E. (2004) Biotic events of Early Eocene (section Kamyshlov, Sverdlovsk region). *Fanerozoi Volgo-Ural'skoi, Prikaspiiskoi i Severo-Kavkazskoi neftegazonosnykh provintsi: stratigrafiya, litologiya, paleontologiya. Materialy II regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Phanerozoic of the Volga-Ural, Caspian and North-Caucasian oil and gas provinces: stratigraphy, lithology, paleontology. Materials of the 2nd regional scientific-practical Conf.]. Saratov, NV NIIGG Publ., 79-81. (In Russian)
- Oreshkina T.V., Aleksandrova G.N., Kozlova G.E. (2004) Early Eocene marine planktonic record of the East Urals margin (Sverdlovsk region): biostratigraphy and paleoenvironments. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, **234**(1-3), 201-222.
- Oreshkina T.V., Oberhänsli H. (2003) Diatom turnover in the early paleogene diatomite of the Sengiley section, Middle Povolzhie, Russia: a response to Initial Eocene. *Thermal Maximum. Causes and consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene*. Eds: S.L. Wing, P.D. Gingerich, B. Schmitz, E. Thomas. Geological Society of America, Special Paper 369, 69-180.
- Oreshkina T.V., Radionova E.P. (2005) Dynamics of diatoms marginal basins of Boreal Peritethys. *Mat. XIII Vse-ros. mikropaleont. soveshch.* [Proc. of 8th All-Russian Micropaleontological Conf.]. Moscow, GEOS Publ., 147-149. (In Russian)
- Oreshkina T.V., Yakovleva A.I., Aleksandrova G.A. (2008) Direct correlation between the zonal scales of the boreal Paleogene diatoms and dinocysts (based on borehole 19-U, Ust'Man'ya, eastern slope of the Northern Urals). *Novosti paleontologii i stratigraphii*, **49**(10-11), 347-350. (In Russian)
- Pedersen S.A.S. (2008) Paleogene diatomite deposits in Denmark: geological investigations and applied aspects. *Bulletin of Geological Survey of Denmark and Greenland*, (15), 21-24.
- Penman D.E. (2016) Silicate weathering and North Atlantic silica burial during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum. *Geology*, **44**(9), 731-734.

- Proshkina-Lavrenko A.I. (1974) *Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye). T. 1* [Diatom algae USSR (fossil and modern). Vol. 1]. Leningrad, Nauka Publ., 402 p. (In Russian)
- Protsvetalova T.N., Lagutenkova N.S. (1968) On the traces of volcanic activity in the Neocomian deposits of the West Siberian Plain. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Geol. Razved.*, (10), 135-136. (In Russian)
- Radionova E.P., Beniamovsky V.N., Yakovleva A.I., Muzyl'ov N.G., Oreshkina T.V., Shcherbinina E.A., Kozlova G.E. (2003) Early Paleogene transgressions: Stratigraphical and sedimentological evidence from the northern Peri-Tethys. *Geological Society of America Special Papers*, (369), 239-261.
- Radionova E.P., Khokhlova I.E., Beniamovsky V.N., Shcherbinina E.A., Yakovleva A.I., Sadchikova T.A. (2001) Paleocene/Eocene transition in the Northeastern Peri-Tethys area: Sokolovskiy key section of the Turgay passage (Kazakhstan). *Bull. Soc. Geol. France*, **172**(2), 245-256.
- Radionova E.P., Oreshkina T.V., Khokhlova I.E., Ben'yamovskii V.N. (1994) Eocene sediments of the north-eastern slope of the Dnepr-Donetz Depression (Zonation and cycles analysis). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **2**(6), 85-102. (In Russian)
- Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. (1990) The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera. Cambridge, 747 p.
- Rubina N.V. (1973) Paleogeological studies of the stratigraphy of marine and continental sediments of Paleogene and Neogene sediments of the West Siberian Plain. *Morskoi i kontinentalnyi paleogen Sibiri* [Marine and continental Paleogene of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 87-96. (In Russian)
- Rudkevich M.Ya. (1980) Tectonics and the Genesis of the West Siberian Plain, in the light of new geological and geophysical data. *Tectonics Siberia*, **9**, 23-30. (In Russian)
- Sarkisyan S.G., Protsvetalova T.N. (1964) Some petrographic features of bituminous mudstones Maryanovsky Formation (West Siberian Lowland). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. Razved.*, (2), 56-60. (In Russian)
- Shatskii S.B. (1978) The main problems of stratigraphy and paleogeography of Siberian Paleogene. *Paleogen i neogen Sibiri* [Paleogene and Neogene of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 3-21. (In Russian)
- Shatskii S.B., Aleksandrova L.V., Bogdashev V.A. (1973) Paleogene central regions of Western Siberia. *Morskoi i kontinentalnyi paleogen Sibiri* [Marine and continental Paleogene of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 4-39. (In Russian)
- Smol J.P., Stoermer E.F. (2010) The Diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences. Second Ed. Cambridge, 667 p.
- Stefanovskii V.V., Borodin A.V. (2010) Reference Eo-pleistocene-Lower Neopleistocene section of the South Transurals region. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **10**(4), 391-401. (In Russian)
- Stefanovskii V.V., Borodin A.V., Strukova T.V. (2003) Correlation of the upper neopleistocene alluvial and lacustrine sections, the Southern Trans-Urals region. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **11**(4), 391-403.
- Strel'nikova N.I. (1974) *Diatomei pozdnego mela* [Diatoms of the Late Cretaceous]. Moscow, Nauka Publ., 201 p. (In Russian)
- Umova L.A., Tsaur G.I., Shatrov V.P. (1968) *Paleogeografiya Vostochnogo sklona Urala i Zaural'ya v melovoe i paleotsenovoe vremya* [Paleogeography of Eastern slope of the Urals and Trans-Urals in the Cretaceous and Paleocene time]. Sverdlovsk, IGIG UFAN SSSR Publ., 83 p. (In Russian)
- Unifitsirovannye regional'nye stratigraficheskie skhemy paleogenovykh i neogenovykh otlozhenii Zapadno-Sibirskoi plity i ob'yasnitel'naya zapiska k nim (2001) Red.: A.E. Babushkin, V.S. Volkova. [Unified regional stratigraphic scheme of Paleogene and Neogene sediments of the West Siberian Plate and the explanatory note to it (Ed. A.E. Babushkin, V.S. Volkova)]. Novosibirsk, SNIIGGIMS i IGIG SO RAN Publ., 83 p. (In Russian)
- Van A.N. (1973) Mesozoic-Paleogene volcanism in the territory of the West Siberian Plain. *Dokl. AN SSSR*, **210**(5), 1156-1159. (In Russian)
- Vasil'eva O.N. (1990) *Palinologiya i stratigrafiya morskikh otlozhenii paleogena Yuzhnogo Zaural'ya* [Palynology and stratigraphy of the Paleogene marine sediments of the Southern Trans-Urals]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 54 p. (In Russian)
- Wise S.W., Weaver F.M. (1974). Chertification of oceanic sediments. *Pelagic Sediments on Land and Under the Sea*. Vol. 1. Eds: K.J. Hsu, H.C. Jenykn. London, Int. Assoc. Sediment., 301-326.
- Yakovleva A.I., Aleksandrova G.N. (2014) Paleoenvironmental reconstructions of Lulinvor time (Eocene) in South West Siberian marine basin by palinological data. *Bull. MOIP, Ser. Geol.*, **89**(3), 33-52. (In Russian)