

На правах рукописи

Гражданкин Дмитрий Владимирович

ХРОНОСТРАТИГРАФИЯ ВЕРХНЕГО ВЕНДА  
(НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ  
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И  
ЗАПАДНОГО СКЛОНА СРЕДНЕГО УРАЛА)

25.00.02 – “Палеонтология и стратиграфия”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук



Новосибирск – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск).

Официальные оппоненты:

**Пучков Виктор Николаевич**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор Института геологии Уфимского научного центра РАН (г. Уфа).

**Чувашов Борис Иванович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, чл.-корр. РАН, советник РАН, Учреждение Российской академии наук Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург).

**Журавлёв Андрей Юрьевич**

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Геологического института РАН (г. Москва).

**Ведущая организация:**

Учреждение Российской академии наук Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН (г. Москва).

Защита состоится 23 марта 2012 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 003.068.01 при Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, в конференц-зале.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3

Тел.: (383) 333-24-31, 330-62-84.

Факс: (8-383) 333-25-13

e-mail: ObutOT@ipgg.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Автореферат разослан 17 февраля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
К.Г.-М.Н.



Обут О.Т.

**Актуальность исследования.** Крупнейшее в истории биосферы практически взрывообразное увеличение биоразнообразия в томмотском веке в начале кембрийского периода безусловно является наиболее ярко выраженным событием в палеонтологической летописи, однако “кембрийскому взрыву” разнообразия предшествовал каскад не менее фундаментальных сдвигов и трансформаций в структуре и функционировании протерозойских экосистем (Glaessner, 1984; Seilacher et al., 2003; Narbonne, 2005; Fike et al., 2006; Fedonkin et al., 2007b; Butterfield, 2007, 2011; Shen et al., 2008; Xiao, Laflamme, 2009). Как свидетельствует палеонтологическая летопись, вендский период характеризуется первым в геологической истории массовым и глобальным распространением макроскопических организмов и синхронными преобразованиями в микробном базисе пищевой пирамиды, поэтому в венде следует ожидать каскад экосистемных перестроек (эволюционных преобразований различных биогеоценозов и обстановок их существования), а в отложениях этого возраста должны глобально прослеживаться события, зафиксированные в смене экологических ассоциаций. Следовательно, биостратиграфический метод должен играть решающую роль при расчленении и корреляции верхневендских отложений и установлении последовательности событий накануне кембрийского (томмотского) взрыва разнообразия скелетообразующих животных и экспансии эукариотного планктона. Однако анализ любой экосистемы, в том числе различных аспектов и параметров биоразнообразия, а также экологических и эволюционных процессов не возможен без учета масштаба наблюдений (Levin, 1992; Ecological scale..., 1998; Gould, 1998; Willis, Whittaker, 2002). Иными словами, экстраполяция результатов изучения динамики таксономического разнообразия и особенностей стратиграфического распределения ископаемых остатков с локального и регионального масштаба на субглобальный без анализа факторов, которые определяют пространственную и временную структуру поздневендской макробиоты при разном масштабе наблюдений может приводить (и уже приводит) к неверным представлениям об эволюции в позднем протерозое и неправильной корреляции разрезов. В этой связи первая задача в разработке современной модели хроностратиграфии верхнего венда состоит в разграничении факторов, под влиянием которых формировалась пространственная и временная структура поздневендской макробиоты в локальном, региональном и субглобальном масштабе. Вторая задача, имеющая фундаментальное научное значение, заключается в определении причинно-следственных связей между запуском механизма биоперемешивания осадка, взрывообразным увеличением морфологического разнообразия макрофитов, резким обеднением

комплексов фитопланктона, появлением биоминерализации и трансформацией сообществ мягкотелых организмов в позднем венде, – каскада событий, связанных с появлением первых сообществ макроскопических организмов и становлением экосистемы фанерозойского типа. На фоне широкого обсуждения мировым научным сообществом вопроса о возможности более дробного расчленения неопротерозоя и принципах, которые должны быть положены в основу построения хроностратиграфической шкалы (Семихатов, 1993, 1995, 2000, 2008; Kaufman et al., 1997; Pyle et al., 2004; Condon et al., 2005; Grey, 2005; Knoll et al., 2006; Zhu et al., 2007; McFadden et al., 2008; Хоментовский, 2008; Sergeev, 2009; Halverson et al., 2010; Сергеев и др., 2010), проведенное исследование приобретает особую актуальность.

**Цели и задачи исследования.** Основная цель работы – установить закономерности в распространении ископаемых макроорганизмов в позднем венде и выявить факторы, которые определяют пространственную и временную структуру поздневендской макробиоты при разном масштабе наблюдений. Достижение этой цели обусловило постановку и решение следующих задач:

1) на примере сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала и валдайской серии северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы провести детальное расчленение разрезов верхнего венда и установить особенности распространения в них остатков ископаемых макроорганизмов;

2) построить хроностратиграфический каркас верхнего венда северо-восточной окраины Восточной-Европейской платформы и установить закономерности в распространении ископаемых макроорганизмов в масштабах палеобассейна;

3) провести сравнительный анализ комплексов макроостатков в опорных разрезах венда и его возрастных аналогов и выявить закономерности в пространственном и временном распространении позднепротерозойских ископаемых макроорганизмов в субглобальном масштабе.

**Фактический материал и методы исследования.** В период с 2002 по 2010 гг. автором проведено комплексное литогенетическое, регионально-стратиграфическое и палеоэкологическое изучение многочисленных обнажений сыльвицкой серии, расположенных в долине р. Чусовой от дер. Заречная (Бабенки) до скалы Синий Камень, а также по ее правым притокам, прорезающим западный склон Среднего Урала в субширотном направлении: по р. Межевой Утке от устья руч. Тулумка до горы Глядень, по р. Серебряной от дер. Серебрянка до устья руч. Шурыш, по р. Сыльвице от урочища Старопечное до устья, по р. Койве в устье руч. Большой Тырым и по р. Усьве от урочища Вилуха до скалы Мултык. Пересечения по рекам Межевой Утке, Се-

ребряной, Чусовой, Сылвице и Койве характеризуют южную часть западного крыла Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория (Синегорский антиклинорий), а по р. Усьве – северную его часть (Басего-Кваркушский антиклинорий). Кроме того, в работе использованы наблюдения и материалы (более 150 разрезов обнажений в долинах рек Нижмы, Кинжуги, Сюзьмы, Верховки, Солзы, Торожмы, Зимней Золотицы, Онеги, береговых обрывах Онежской гряды и Зимних гор и 6 разрезов скважин, пробуренных на Онежском п-ове Сюзьминской партией Новодвинской экспедиции АО “Архгеолдобыча” в период 1993–1996 гг.), собранные автором на территории Архангельской области (юго-восточное Беломорье) в ходе полевых работ 1993–2004 гг.

К работе привлекался дополнительный материал, наблюдения и сведения, предоставленные А.В. Масловым, М.Т. Крупениным, Г.А. Мизенсом, А.В. Ларченко, А.С. Алексеевым, А.Ф. Станковским, М.А. Федонкиным, А.Ю. Иванцовым, В.Г. Оловянишниковым, М.Б. Бурзиным, Е.А. Сержниковой, а также материалы отчетов, хранящихся в ФГУ “Северный территориальный фонд геологической информации”. Разрез Котласской опорной скважины изучен в Федеральном фонде кернового материала, палеонтологических и литологических коллекций и коллекций нефтей нефтегазоносных провинций России на базе Апрельского отделения ВНИГНИ (г. Апрелька Московской обл.). Автором лично изучен палеонтологический материал, хранящийся в коллекциях Палеонтологического института РАН (г. Москва), Уральского геологического музея (г. Екатеринбург), Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск), Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко (г. Киев, Украина), Национального научно-природоведческого музея НАН Украины (г. Киев, Украина), Тюбингенского университета (Paläontologische Lehr- und Schausammlung Fachbereich Geowissenschaften Eberhard Karls Universität Tübingen, г. Тюбинген, Германия), Естественно-исторического музея Оксфордского университета (Oxford University Museum of Natural History, г. Оксфорд, Великобритания), Лестерского университета (University of Leicester, г. Лестер, Великобритания), Южно-Австралийского музея (South Australian Museum, г. Аделаида, Австралия) и Государственного музея наук о Земле Геологической службы Намибии (National Earth Science Museum, Geological Survey of Namibia, г. Виндхук, Намибия).

Для проверки гипотез об узкой экологической специализации поздневендских макроорганизмов и эскалационной роли билатерий в эволюции макробентоса были проведены экспедиционные работы в Подольском Приднестровье (Украина), на кряже Flinders Ranges (Южная Австралия), в Скалистых Горах (шт. Монтана, США), на Южном Урале, в Прибайкалье и на Оленекском поднятии Сибири, а также из-

учены разрезы скважин, пробуренных в Предъенисейском осадочном бассейне.

**Научная новизна и личный вклад.** Работа направлена на решение проблемы хроностратиграфического расчленения верхнего венда на примере разрезов северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы и западного склона Среднего Урала. Автором впервые проведен детальный фациально-генетический анализ осадочных последовательностей в естественных обнажениях в юго-восточном Беломорье и на Среднем Урале, а также в скважинах в Мезенской синеклизе, и впервые показано, что верхневендские отложения северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы накапливались в обстановках крупной подводной донно-флювиальной дельтовой системы, продельты и прилегающих подводных илистых равнин. В изученных разрезах установлены и прослежены по всему региону крупные латеральные фациальные ряды, разделенные фациальными несогласиями (поверхностями резкой миграции фаций), благодаря чему впервые детально скоррелированы между собой наиболее фоссилиеносные (юго-восточное Беломорье) и наиболее мощные (Средний Урал) разрезы верхнего венда, показана длительность перерыва между редкинским и котлинским горизонтами и выделен беломорский горизонт, к которому приурочено максимальное таксономическое, количественное и экологическое разнообразие ископаемых организмов. Автором впервые показано, что имеющие глобальное распространение авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биотические ассоциации приурочены к определенным обстановкам осадконакопления и в течение длительного времени существовали одновременно, но в разных биотопах. Авалонская ископаемая биота характеризует зоны низкоэнергетических подводных илистых равнин, эдиакарская – дистальные участки зоны волнения и течений, и намская – зоны каналов распределительной системы продельты. Впервые реконструированы этапы эволюции билатерий и эскалационной коэволюции макросообществ в позднем венде. Автором предложена новая региональная стратиграфическая схема верхнего венда Восточно-Европейской платформы, в которой горизонты отвечают основным этапам эволюции поздневендской макробиоты в глобальном масштабе и поэтому могут служить основой для выделения хроностратиграфических подразделений общей шкалы.

**Теоретическое и практическое значение.** Полученные результаты показывают ведущую роль палеоэкологических факторов в формировании пространственной и временной структуры поздневендской макробиоты. Предложенное решение задачи хроностратиграфического расчленения верхнего венда имеет важное значение для совершенствования и детализации стратиграфической шкалы верхне-

го протерозоя, где сильный экологический шум в пространственно-хронологическом распределении ископаемых остатков предопределили выдвигание на первое место абиотических критериев установления границ общих стратиграфических подразделений. Результаты изучения поздневендских ископаемых макроорганизмов важны для реконструкции ранних этапов эволюции многоклеточных животных и становления экосистем фанерозойского типа. В процессе исследований получен изотопно-геохронологический возраст отложений, содержащих богатые комплексы ископаемых макроостатков в юго-восточном Беломорье и на западном склоне Среднего Урала.

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 45 работ, в том числе 29 статей в рецензируемых журналах и монография. Результаты были доложены на Международном симпозиуме “Эволюция экосистем” (г. Москва, 1995 г.), Всероссийском симпозиуме “Загадочные организмы в эволюции и филогении” (г. Москва, 1997 г.), международных сессиях Палеонтологического общества PalAss (Manchester, 2000 г.; Cambridge, 2002 г.; Leicester, 2003 г.; Uppsala, 2007 г.) и Американского геологического общества GSA (Boston, США, 2001 г.), секции Лестерского литературно-философского общества (Leicester, Великобритания, 2007 г.), практическом семинаре “Frontiers in Geobiology – The emergence and evolution of uni- and multicellular life and the consequences for System Earth” (Göttingen, Германия, 2007 г.), II Международной конференции “Biosphere Origin and Evolution” (Loutraki, Греция, 2007 г.), Международном симпозиуме “Geobiology of Stromatolites” (Göttingen, Германия, 2008 г.), 5 Всероссийском литологическом совещании “Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли” (г. Екатеринбург, 2008 г.), 8 Уральском литологическом совещании “Актуальные вопросы литологии” (г. Екатеринбург, 2010 г.), Международном симпозиуме “Эволюция жизни на Земле” (г. Томск, 2010 г.), конференции “Ранняя колонизация суши” (г. Москва, 2010 г.), оперативном стратиграфическом совещании “Основные проблемы стратиграфии и пути их решения” (г. Москва, 2011 г.), на семинарах в университетах России, Европы, Канады, США и Австралии: Биологический факультет МГУ (Москва, 1997 г.), University of Oslo (Норвегия, 1996 г.); Naturhistoriska Riksmuseet (Швеция, 1996 г.); Yale University (США, 1997 г.); Harvard University (США, 1997 г.); Queens University (Канада, 1997 г.), University of Western Ontario (Канада, 1997 г.), Universität Tübingen (Германия, 1998 г.), Cambridge University (Великобритания, 1999–2010 гг.), South Australian Museum (Австралия, 2001 г.), Leicester University (Великобритания, 2002 г.), Universität Zürich (Швейцария, 2005 г.), University of Oregon (США, 2008 г.), Oxford University (Великобритания, 2010 г.), а также в Институте

нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (г. Новосибирск).

**Объём и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, десяти глав, заключения и списка литературы из 522 наименований. Общий объем работы – 362 страницы.

Раздел I **“Верхний венд северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы: строение разрезов, осадочные системы и секвенс-стратиграфическая архитектура”** включает в себя пять глав и посвящен детальному фациально-генетическому анализу сыльвицкой серии в естественных обнажениях на западном склоне Среднего Урала (глава 1) и валдайской серии в обнажениях и скважинах в юго-восточном Беломорье (глава 2) и на юго-западе Мезенской синеклизы (глава 3). Установленные латеральные фациальные ряды и поверхности резкой миграции фаций (фациальные несогласия) трассируются вдоль северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы, демонстрируя тем самым относительную выдержанность седиментационных систем, и позволяют выделять четыре осадочные системы (глава 4), а в терминах секвенс-стратиграфии – тракты осадочных систем (глава 5).

Раздел II **“Особенности распределения ископаемых макроостатков в верхнем венде на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы”** включает в себя две главы, посвящен результатам сравнительно-тафономического анализа ориктоценозов (глава 6) и представляет собой попытку ревизии унифицированной стратиграфической схемы верхневендских отложений северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы (глава 7). По результатам проведенных автором регионально-стратиграфических, литогенетических и палеонтологических исследований, трассирования латеральных фациальных рядов и фациальных несогласий верхний венд Московской и Мезенской синеклиз, юго-восточного Беломорья, Верхнекамской впадины и также западного склона Среднего Урала предлагается расчленять на редкинский, беломорский и котлинский горизонты, каждый из которых отвечает определенному этапу формирования осадочного бассейна и отличается палеонтологической характеристикой. Разработанная схема реализует принципы региональной стратиграфии, закрепленные Стратиграфическим кодексом, и является историко-геологической моделью верхнего венда Восточно-Европейской платформы.

Раздел III **“Палеоэкологические, палеогеографические, тафономические и эволюционные аспекты формирования поздневендской ископаемой мягкотелой биоты”** включает в себя три главы и посвящен анализу факторов, под влиянием которых происходило формирование пространственной и временной структуры поздневендской



макробиоты в локальном, региональном и субглобальном масштабе. В составе макробиоты выделено десять таксономических групп надродового ранга (глава 8). Показано, что авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биоты в первую очередь отражают узкую экологическую специализацию поздневендских мягкотелых организмов и имеют широкий хроностратиграфический диапазон (глава 9). Результаты анализа палеонтологической летописи и изотопно-геохронологических данных позволили наметить три этапа в эволюции поздневендской макробиоты, при этом показана высокая корреляция этих этапов с результатами регионально-стратиграфических исследований на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы (глава 10). Редкинский, беломорский и котлинский горизонты с одной стороны отражают определенные эколого-палеогеографические обстановки палеобассейна, а с другой – определенные стадии развития биоты, и поэтому могут служить прототипами хроностратиграфических подразделений.

**Благодарности.** Автор глубоко признателен академику Б.С. Соколову, академику А.Э. Конторовичу, д.г.-м.н. В.В. Хоментовскому, академику А.Ю. Розанову, академику М.А. Федонкину, члену-корреспонденту РАН А.В. Маслову и члену-корреспонденту РАН А.В. Каныгину за постоянное внимание и поддержку. В процессе работы ценные советы и замечания были получены от академика Г.А. Заварзина, академика М.А. Семихатова, профессора МГУ Б.Т. Янина, профессора МГУ А.С. Алексеева, П.Ю. Петрова (ГИН РАН), М.Б. Бурзина (ПИН РАН), а также профессора А. Зейлахера (Тюбингенский университет), профессора С. Конвей Морриса (Кембриджский университет) и доктора Н. Баттерфилда (Кембриджский университет). Неоценимая помощь при работе с архивными материалами, консультации, рекомендации и наставления оказаны А.Ф. Станковским. Важные дополнительные сведения о распространении ископаемых остатков предоставили автору М.А. Федонкин, А.Ю. Иванцов, А.В. Ларченко, В.И. Кривошеев. Сотрудничество с М.С. Афанасьевой (Апрелевское отделение ВНИГНИ), В.Г. Оловянишниковым (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН), В.П. Гриценко (Киевский национальный университет) и А.А. Ищенко (Институт геохимии окружающей среды НАН Украины и МЧС Украины) было полезным для понимания региональной структуры вендского комплекса. Особую признательность автор выражает Лаборатории палеонтологии и стратиграфии докембрия и кембрия ИНГГ СО РАН за создание условий, без которых эта работа не могла бы быть выполнена.

Успешному проведению экспедиционных работ в юго-восточном Беломорье, на Среднем и Южном Урале, в Подольском Приднестровье, в Прибайкалье, на Оленекском поднятии, в Южной Австра-

лии и Скалистых Горах в разные годы содействовали А.А. Бронников, А.Ю. Иванцов, А.В. Маслов, М.Т. Крупенин, Г.А. Мизенс, А.В. Ларченко, Б.Б. Кочнев, К.Е. Наговицин, В.П. Гриценко, J.G. Gehling, В. McHenry, G.J. Retallack, С.В. Репин, С.В. Рожнов, М.В. Леонов, Ю.В. Шувалова, А.В. Легута, С.В. Говоров, С.В. Колотов, А.П. Миронов (водитель), А.Н. Гордеев (водитель), В.Н. Подковыров, М.Н. Медведев, А.Ю. Корнилова, Т.И. Степанова, Н.А. Кучева, М.П. Снигирева, А.З. Бикбаев, Ю.Б. Корнилов, Н.С. Клещенок, Г.А. Петров, В.И. Рогов, Н.В. Быкова, В.В. Марусин, Ю.Ю. Гой, А.В. Колесников, С.А. Сапурин, Т.М.Р. Mustill, A.J. Kaufman, S. Xiao, U. Balthasar.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (гранты 96-05-64806, 98-05-64858, 99-05-64547, 02-05-64658, 05-05-64825, 06-05-64223, 09-05-00279, 09-05-00520), АО “Архгеолдобыча”, АК “АЛРОСА” (филиал “АЛРОСА-Поморье” в г. Архангельске), авиакомпании QANTAS, Фонда Ханса Раусинга, премии МАИК “Наука/Интерпериодика”, премии Фонда Альфреда Тепфера (Германия), Научной школы Б.С. Соколова и М.А. Федонкина, Совета Великобритании по исследованию окружающей среды (NERC; гранты NER/V/S/2000/00316 и NER/A/2001/01049), Программы Президиума РАН “Происхождение и эволюция биосферы”, интеграционного комплексного проекта Дальневосточного, Сибирского и Уральского отделений РАН “Реконструкция источников поступления вещества в осадочные бассейны Северной Евразии: обстановки седиментогенеза, потенциальная рудоносность”, стипендии Irish Research Council for Science, Engineering and Technology (Ирландия) и National Geographic Society.

### **Защищаемое положение 1**

**По результатам проведенных регионально-стратиграфических, литогенетических и палеонтологических исследований в стратиграфически наиболее полных разрезах северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы и западного склона Среднего Урала обоснована новая региональная стратиграфическая схема, в которой верхний венд разделяется на редкинский, беломорский и котлинский горизонты, отвечающие основным этапам эволюции эколого-палеогеографических обстановок в палеобассейне (рис. 1).**

Защищаемое положение 1 раскрыто в главе 7 диссертации и обосновывается на фактическом материале, изложенном в главах 1–6 диссертации.

К моменту установления унифицированной региональной стратиграфической схемы (1978 г.) отложения, промежуточные между редкинским и котлинским горизонтами, были известны только в юго-

восточном Беломорье, в разрезе Зимних гор, где долгое время сохранялась неопределенность в отношении возраста слоев, которые имели котлинский литологический облик, но содержали комплекс остатков мягкотелых организмов (Аксенов и др., 1978). При издании новой стратиграфической схемы Европейского Севера СССР переходные отложения частично были отнесены к усть-пинезскому горизонту, который предлагался как замена редкинскому, однако не получил широкого распространения (Верхний докембрий ... , 1986). В процессе дальнейшей детализации стратиграфической схемы вендских отложений Мезенской синеклизы была предложена красавинская свита, характеризующаяся тем, что в нижней своей половине имеет литологические и палеонтологические особенности, присущие редкинским отложениям, а верхняя ее часть напоминает котлинский горизонт (Бурзин, Кузьменко, 2000). Далее, на Среднем Урале в основании чернокаменной свиты сылвицкой серии выделяется толща, для которой также неоднозначно решается вопрос со стратиграфическим возрастом. Одни исследователи эту толщу по фациально-литологическим признакам относят к котлинскому горизонту (Аблизин и др., 1982), другие – на основании находок отпечатков и слепков мягкотелых организмов делают заключение о ее редкинском возрасте (Аксенов, 1985а). Следовательно, в пределах осадочного бассейна северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы и западного склона Среднего Урала между редкинским и котлинским горизонтами располагается толща переходного облика, содержащая разнообразный комплекс остатков мягкотелых организмов. Мощность этой толщи достигает нескольких сотен метров.

Отсутствие четких представлений о динамике и характере эволюционных обновлений биоты до недавнего времени не позволяло проводить хронозональную корреляцию вендских алломосилкокластических отложений Восточно-Европейской платформы не только с отложениями других регионов Северной Евразии, но даже в пределах одного палеобассейна. Назревшая необходимость синтеза данных по опорным разрезам верхнего протерозоя мира требует разработки новой, палеоэкологической корреляционной базы, основой для которой могут, по мнению автора, выступать осадочные системы – совокупности генетически взаимосвязанных геологических тел, которые являются результатом взаимодействия различных физических, химических и биологических факторов (Fisher, McGowen, 1967; Swift et al., 1991). Именно осадочные системы (сукцессии) и содержащиеся в них ископаемые остатки дают возможность спроектировать хроностратиграфический каркас венда и могут служить прототипами региональных стратиграфических подразделений (горизонтов) (Лео-

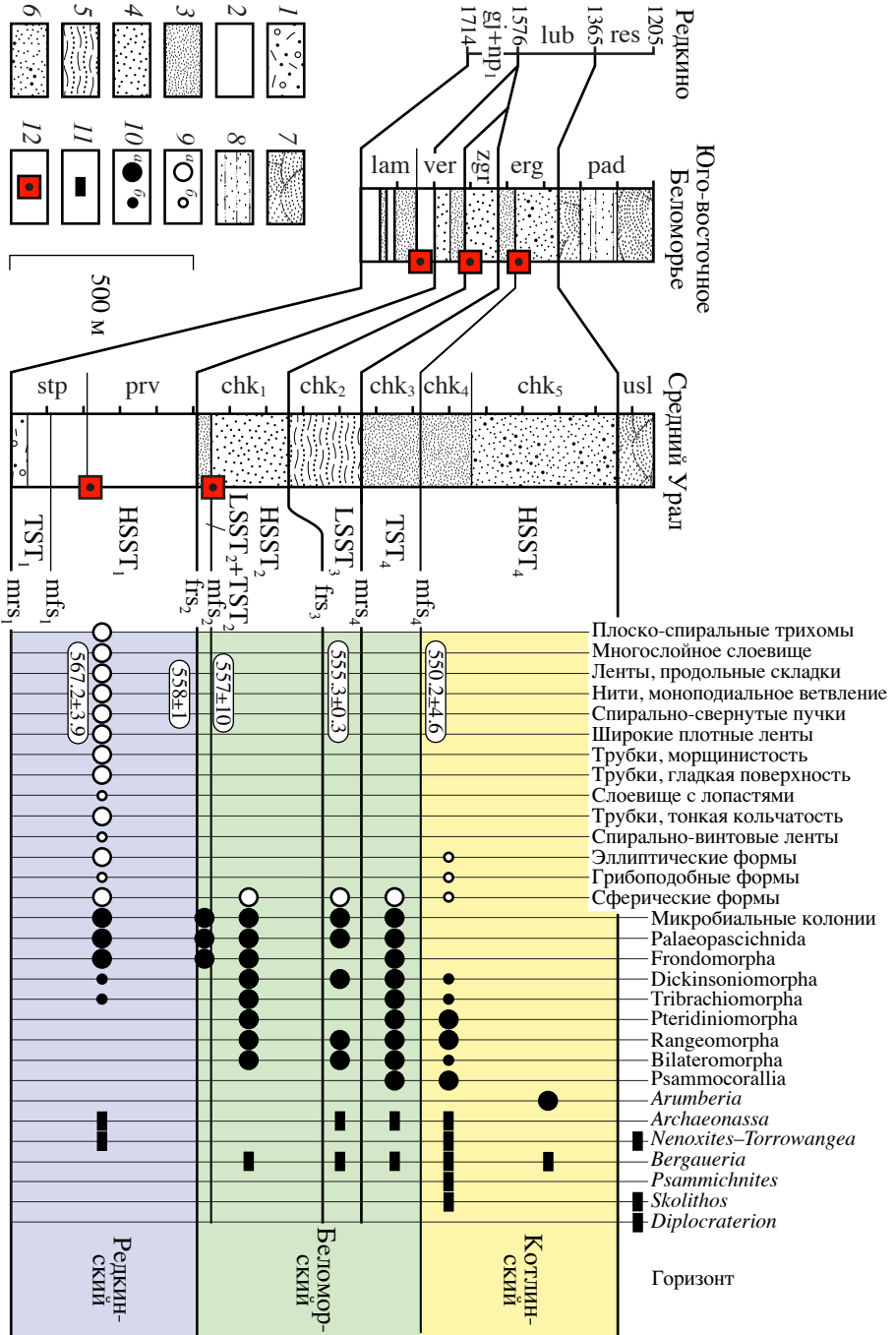


Рис. 1. Корреляция секвенс-стратиграфических подразделений и трассирование секвентных границ в верхневендских отложениях в стратотипе редкинского горизонта (скв. Редкино), юго-восточном Беломорье и на западном склоне Среднего Урала и стратиграфическое распределение остатков отдельных представителей ископаемой поздневендской биоты.

1–8 – фации; 1, 2 – тонкослоистые алевролитоглинистые отложения (1 – диамиктиты, 2 – тонкослоистые аргиллиты и алевролиты), 3 – тонкослоистые песчаные отложения, 4 – грубослоистые песчаные отложения, 5 – тонкоритмичные песчано-алевритистые отложения, 6 – косослоистые песчаные отложения, 7, 8 – грубоплитчатые песчаные отложения (7 – песчаники с крупной мультислоистой кривой слоистостью, 8 – песчаные отложения с флазерной слоистостью); 9 – уплощенные органостенные макроостатки (*a* – многочисленные, *b* – редкие); 10 – слепки и отпечатки мягкотелых организмов (*a* – многочисленные, *b* – редкие); 11 – ископаемые следы жизнедеятельности; 12 – стратиграфическое положение вулканических туфов, для которых получена U–Pb-датировка возраста по циркону. LSST – тракт низкого стояния уровня моря; HSST – тракт высокого стояния уровня моря; TST – трансгрессивный тракт; mfs – поверхность максимальной регрессии; mfs – поверхность морского затопления; frs – поверхность форсированной регрессии. Свиты: gj – гаврилов-ямская, pr – непейцинская, lub – любимская, res – решминская, lam – лямницкая, veg – верховская, zgg – зимнегорская, erg – ергинская, pad – падуновская, str – старопечнинская, prv – переваловская, chk – чернокаменская, usl – усть-сыльвицкая; подсвиты чернокаменской свиты: chk<sub>1</sub> – вилухинская, chk<sub>2</sub> – шурьшская (черемуховская), chk<sub>3</sub> – синемаменская, chk<sub>4</sub> – коноваловская, chk<sub>5</sub> – крутихинская. Возраст указан в млн лет.

нов, 1973, 1974; Фролов, 1995; Семихатов, 1995, 2008; Соколов, 2009; Шишлов, 2010), а секвенс-стратиграфический подход позволяет добиться изохронности (в геологическом смысле) границ стратонов, повысить корректность “развертки” хроностратиграфической шкалы на площадь, подтверждает валидность подразделений и увеличивает разрешающую возможность шкалы. Применение методов секвентной стратиграфии к изучению верхневендских отложений Восточно-Европейской платформы стало возможным благодаря выполненному автором детальному фациально-генетическому анализу осадочных последовательностей в естественных обнажениях и скважинах в юго-восточном Беломорье, в обнажениях на западном склоне Среднего Урала, а также в Котласской скважине на юго-западе Мезенской синеклизы. Установленные здесь латеральные фациальные ряды и поверхности резкой миграции фаций (фациальные несогласия) трассируются и в скважинах, вскрывших верхний венд в Мезенской и Московской синеклизах, демонстрируя тем самым относительную выдержанность седиментационных систем в предгорном бассейне, который существовал на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы перед фронтом Тиманского орогена. В результате проведенных исследований оказалось возможным не только выявить секвенс-стратиграфическую архитектуру верхневендских отложений, но и впервые детально скоррелировать между собой наиболее фоссиленосные (юго-восточное Беломорье) и наиболее мощные (Средний Урал) разрезы венда.

В верхневендских отложениях северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы выделяются четыре секвенции: агминская, солзенская, зимнегорская и ергинская. Нижняя граница

солзенской секвенции представляет собой поверхность резкого сдвига фациальных зон в сторону бассейна (поверхность форсированной регрессии), к которой приурочено сокращение осадкоемкого пространства, достигшее максимума в зимнегорское время при формировании тракта низкого стояния. К поверхности морского затопления ергинской секвенции приурочен очередной резкий сдвиг фациальных поясов одновременно с расширением осадкоемкого пространства. Трассирование секвентных границ и латеральных фациальных рядов показало, что на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы осадконакопление протекало без существенных перерывов на протяжении всего позднего венда, тогда как в палеобассейне Московской синеклизы (стратотипическая местность венда) формирование осадков было связано с двумя эпизодами высокого стояния уровня моря. Первый эпизод приходится на агминское время (“редкинская трансгрессия”), второй – на ергинское время (“котлинская трансгрессия”). Причина сокращения осадкоемкого пространства не связана с геодинамикой бассейна (на протяжении солзенского и зимнегорского времени в бассейне сохранялись условия некомпенсированного прогибания и формировались трансгрессивно построенные осадочные системы), количеством или темпами поступления обломочного материала (на всем протяжении солзенского и зимнегорского времени в бассейне функционировала седиментационная система “подводный конус выноса – высокоэнергетическое песчаное мелководье”, отложения которой не успевали перерабатываться волновыми процессами). Все это позволяет исключить влияние региональных причин на образование солзенской и зимнегорской секвенций и считать, что формирование их происходило на фоне крупного эвстатического события, связанного с колебанием уровня Мирового океана.

Прослеженные в верхнем венде Восточно-Европейской платформы секвентные границы открывают принципиально новые возможности для расчленения отложений на стратоны, отражающие основные этапы развития палеобассейна. Если редкинский горизонт ограничить объемом агминской секвенции, а котлинский горизонт выделять в объеме тракта высокого стояния ергинской секвенции, то заключенная между ними толща, характеризующаяся преимущественно песчаным составом отложений и высоким таксономическим разнообразием ископаемых мягкотелых организмов, может быть выделена в самостоятельный горизонт, отделенный от редкинского и котлинского поверхностями, уверенно трассируемыми в пределах Восточно-Европейской платформы. Снизу эта толща ограничена поверхностью максимальной регрессии  $mrg_2$ , а сверху – поверхностью максимального морского затопления  $mfs_4$ . В северо-восточной части

Московской синеклизы эти поверхности прослеживаются, соответственно, в основании верхней подсвиты непейцинской свиты и в подошве средней подсвиты любимской свиты. Толщу отложений переходного облика, заключенную между редкинским и котлинским горизонтами в Мезенской синеклизе, на восточном склоне Балтийского щита и на западном склоне Среднего Урала, а также в северо-восточной части Московской синеклизы, предлагается выделять как беломорский горизонт (рис. 1).

По результатам проведенных автором регионально-стратиграфических и литогенетических исследований, трассирования латеральных фациальных рядов и фациальных несогласий верхний венд Московской и Мезенской синеклиз, юго-восточного Беломорья, Верхнекамской впадины и западного склона Среднего Урала предлагается расчленять на редкинский, беломорский и котлинский горизонты, каждый из которых отвечает определенному этапу формирования осадочного бассейна и отличается палеонтологической характеристикой. Разработанная схема реализует принципы региональной стратиграфии, закрепленные Стратиграфическим кодексом, и является историко-геологической моделью верхнего венда Восточно-Европейской платформы.

**Редкинский горизонт** выделяется как регрессивно построенная толща, сложенная тонко переслаивающимися алевролитами и аргиллитами (глинами) пестрой, светло-серой и шоколадно-коричневой окраски с прослоями вулканических туфов и содержащая пачки переслаивающихся серых косоволнистослоистых песчаников, алевролитов и аргиллитов (глин). В основании горизонта залегает маломощный покров грубозернистых песчаников, гравелитов, либо диамиктитов. Из состава горизонта предлагается исключить подстилающие серые и светло-серые плохо сортированные песчаники, слюдистые алевролиты и аргиллиты плетневской свиты. В терминах секвенс-стратиграфии, редкинский горизонт объединяет трансгрессивный тракт  $TST_1$  (песчаники, гравелиты и диамиктиты) и тракт высокого стояния уровня моря  $HSST_1$  агминской секвенции. Горизонт охарактеризован богатыми комплексами уплощенных органостенных макрофоссилий и своеобразным комплексом акантоморфных акритарх. Остатки мягкотелых организмов и ископаемые следы жизнедеятельности отличаются сравнительно бедным разнообразием. Наиболее богатые ориктоценозы приурочены к фации тонкослоистых алевролитоглинистых отложений и представлены ископаемыми фрндоморфами, рангеоморфами и палеопасцихнидами, а в ихноценозах доминируют извилистые норы с менисковым заполнением в толще песчаного осадка (*Nenoxites*). В ориктоценозах фации тонкослоистых песчаных отложений пре-

обладают ископаемые остатки микробиальных колоний, а дикинсониеморфы, билатериеморфы и трибрахиеморфы встречаются редко. На волнистой кровле песчаных прослоев встречаются извилистые ископаемые следы в виде парных валиков (*Archaeonassa*). Мощность горизонта изменяется от 43 м в скв. Невель на юго-западе до 500 м в Вычегодском прогибе и на Среднем Урале. В состав горизонта включены гаврилов-ямская свита и нижняя подсвита непейцинской свиты Московской синеклизы, лямицкая свита и нижняя подсвита верховской свиты юго-восточного склона Балтийского щита, “усть-пинежская свита” Мезенской синеклизы, велвинская свита Верхнекамской впадины, старопечнинская и перевалокская свиты западного склона Среднего Урала.

**Беломорский горизонт** выделяется как толща преимущественно песчаного состава и имеет трехчленное строение. Для нижней и верхней частей характерно циклическое строение, выраженное в чередовании пакетов песчаников с градационной, тонкой и грубой ровной, волнистой, бугорчатой, флазерной и косоволнистой слоистостью, слагающих пласты, слепки промоин и каналов, а также тела рулето- и шаровидной формы, и интервалов переслаивающихся алевролитов и аргиллитов (глин). В нижней части горизонта циклиты повсеместно имеют регрессивное строение, а верхняя часть сложена из прогрессивно построенных циклитов. В средней части беломорского горизонта представлена своеобразная толща тонкоритмично переслаивающихся косоволнистослоистых песчаников и алевролитов с текстурами подводно-оползневых деформаций, которая может переходить в толщу песчаников с грубой ровной и волнистой, местами многоэтажной косо́й слоистостью, также с текстурами подводно-оползневых деформаций. Интервалы, сложенные тонкослоистыми аргиллитами (глинами), могут содержать прослой вулканических туфов. В терминах секвенс-стратиграфии, беломорский горизонт объединяет тракт низкого стояния  $LSST_2$ , трансгрессивный тракт  $TST_2$  и тракт высокого стояния  $HSST_2$  солзенской секвенции, тракт низкого стояния  $LSST_3$  зимнегорской секвенции и трансгрессивный тракт  $TST_4$  ергинской секвенции. Горизонт характеризуется максимальным таксономическим и количественным разнообразием отпечатков мягкотелых организмов за всю историю развития палеобассейна северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы. В ориктоценозах фации тонкослоистых песчанистых отложений широко распространены дикинсониеморфы, билатериеморфы, трибрахиеморфы, микробиальные колонии (и другие текстуры микробиального происхождения), палеопасцихниды и фрндоморфы, а также ископаемые следы *Archaeonassa*. Фацию тонкослоистых алевролито-глинистых отложений характери-



зуют ископаемые фрондоморфы и рангеоморфы и ископаемые следы поселений *Bergaueria*. Ориктоценозы фации грубослоистых песчаных отложений содержат ископаемые остатки петалонам и рангеоморф. Мощность горизонта изменяется от 18–54 м на западе Московской синеклизы до 600 м на западном склоне Среднего Урала. В составе горизонта объединены верхняя подсвета непейцинской свиты, макарьевская свита и нижняя подсвета любимской свиты Московской синеклизы, верхняя подсвета верховской свиты, зимнегорская свита и нижняя подсвета ергинской свиты юго-восточного Беломорья, нижняя часть “мезенской свиты” Мезенской синеклизы, велвинская свита Верхнекамской впадины, и вилухинская, шурышская, черемуховская и синекаменская подсветы чернокаменской свиты западного склона Среднего Урала.

**Котлинский горизонт** выделяется как регрессивно построенная, пестро окрашенная толща, сложенная тонко переслаивающимися песчаниками, алевролитами и аргиллитами (глинами) и содержащая мощные пакеты грубослоистых и косослоистых средне- и крупнозернистых песчаников, выполняющие каналы и русла. Для песчаников котлинского горизонта характерна зеленовато-серая, буровато-серая, коричневая окраска; алевролиты и аргиллиты (глины) демонстрируют пеструю фиолетовую, ярко-бурюю, желтую, оранжевую, красновато-серую окраску с голубовато-серыми пятнами оглеения. Из состава горизонта исключены перекрывающие фиолетово-бурые, бордово-красные и серо-коричневые песчаники и алевролиты рещминской и падунской свит. В терминах секвенс-стратиграфии, горизонт представляет собой тракт высокого стояния  $HSS_4$  ергинской секвенции. Ориктоценозы фации тонкослоистых песчаных отложений отличаются низким таксономическим и количественным разнообразием ископаемых мягкотелых организмов, а ихноценозы, наоборот, характеризуются относительным разнообразием типов поведения и крупными размерами ископаемых следов (впервые появляются *Skolithos*, *Psammitichnites*, *Astropolichnus*). В ориктоценозах фации грубослоистых песчаных отложений представлены петалонамы, рангеоморфы и псаммокораллы. Диагностической для котлинского горизонта группой ископаемых макроорганизмов являются арумбериеморфы, широко распространенные в песчаниках фации косослоистых песчаных отложений. Мощность горизонта изменяется от 140 м на западе Московской синеклизы до 650 м на западном склоне Среднего Урала. В составе горизонта установлены средняя и верхняя подсвета любимской свиты Московской синеклизы, верхняя подсвета ергинской свиты юго-восточного Беломорья, верхняя часть “мезенской свиты” Мезенской синеклизы, краснокамская свита Верхнекамской впадины

и коноваловская, крутихинская и кобылоостровская подсвиты чернокаменной свиты Среднего Урала.

Ровенский горизонт на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы на палеонтологическом материале не установлен. Котлинский горизонт, по всей вероятности, перекрывается лонтоваским горизонтом нижнего кембрия.

Точный возраст нижней границы редкинского горизонта изотопными методами до сих пор не определен. В составе керносской свиты серебрянской серии, подстилающей старопечнинскую свиту редкинского горизонта на западном склоне Среднего Урала, установлены субщелочные основные и ультраосновные эффузивные и субвулканические породы с подчиненными карбонатными и алюмосиликокластическими породами благодатского, дворецкого и шпалорезовского комплексов. Принимая во внимание, что Rb–Sr-возраст (Срх + вал) эксплозивных брекчий пикритов, прорывающих керносскую свиту, оценивается в  $608 \pm 3$  млн лет, а формирование пикритобазальтов, трахибазальтов и трахиандезитов дворецкого комплекса, возможно, происходило  $569 \pm 42$  млн лет назад (Sm–Nd метод; Срх + вал) (Карпущина и др., 2001), возраст нижней границы редкинского горизонта лежит в пределах 570–600 млн лет. Такую оценку подтверждает U–Pb-цирконовый возраст  $567.2 \pm 3.9$  млн лет, полученный для вулканических туфов из перевалокской свиты (Гражданкин и др., 2011). Изотопные U–Pb возраста цирконов из вулканических туфов в нижней подсвите верховской свиты ( $558 \pm 1$  млн лет) и вилухинской подсвите чернокаменной свиты ( $557 \pm 10$  млн лет) показывают, что возраст нижней границы беломорского горизонта лежит в пределах 557–558 млн лет (Grazhdankin, 2004; Ронкин и др., 2006; Гражданкин и др., 2010). Вулканогенные цирконы из вулканических туфов, залегающих в нижней подсвите зимнегорской свиты юго-восточного Беломорья, имеют U–Pb возраст  $555.3 \pm 0.3$  млн лет (Martin et al., 2000), который рассматривается как лучшее приближение возраста нижней границы среднебеломорского подгоризонта. Возраст нижней границы котлинского горизонта изотопными методами не определен, но в любом случае должен быть моложе, чем 555 млн лет. С другой стороны, вулканогенные цирконы из основания верхней подсвиты ергинской свиты в одном из разрезов по р. Зимней Золотице в юго-восточном Беломорье имеют U–Pb возраст  $550.2 \pm 4.6$  млн лет (Llanos et al., 2005). Следовательно, возраст нижней границы котлинского горизонта можно считать равным ~550 млн лет.

## Защищаемое положение 2

**Таксономический состав ориктоценозов представителей позднепротерозойской ископаемой макроскопической биоты в разре-**

зах валдайской и сylvицкой серий в первую очередь отражает фациально-генетические особенности вмещающих отложений, не подчиняется палеогеографической зональности и не определяется избирательным действием тафономических факторов. На примере изученных разрезов показано, что имеющие глобальное распространение авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биотические ассоциации, которые традиционно рассматриваются как последовательно сменяющие друг друга во времени комплексы организмов, приурочены к определенным обстановкам осадконакопления и в течение длительного времени существовали одновременно, но в разных биотопах (рис. 2).

Защищаемое положение 2 раскрыто в главах 6, 8 и 9 диссертации и обосновывается на фактическом материале, изложенном в главах 1–5 диссертации.

Поздневендские мягкотелые организмы имели глобальное распространение в узком интервале геологического времени 580–540 млн лет. В этом интервале выделяются три различающиеся между собой по таксономическому составу ассоциации: авалонская, эдиакарская

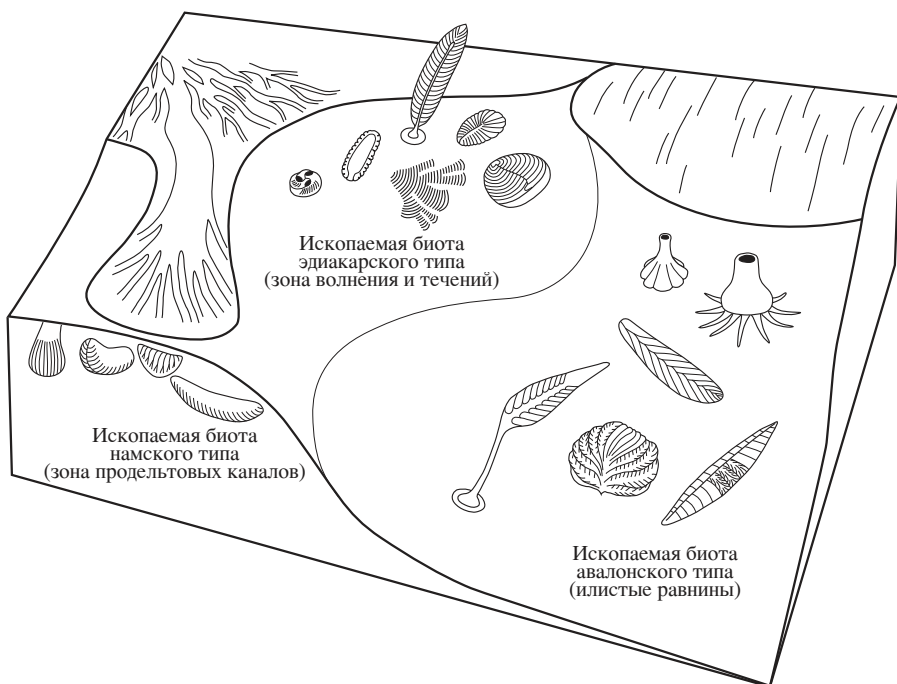


Рис. 2. Ископаемые биотические ассоциации поздневендских макроорганизмов в различных обстановках обитания.

и намская, которые одними исследователями интерпретируются как этапы эволюционного развития вендской биоты, другими рассматриваются в качестве биогеографических провинций, третьими – как результат избирательной сохранности (Waggoner, 2003; Narbonne, 2005; Shen et al., 2008). Автором показано, что авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биоты, кроме возрастных характеристик, различаются между собой обстановками обитания, в соответствии с чем предложена гипотеза об узкой экологической специализации поздневендских макроорганизмов. Согласно гипотезе, авалонская, эдиакарская и намская ассоциации представляют собой четко диагностируемые типы сообществ, каждый из которых приурочен к определенным условиям среды обитания и имеет уникальные палеоэкологические характеристики: сообщества авалонского типа (фрондоморфы и рангеоморфы) характеризуют низкоэнергетические зоны шельфа; сообщества эдиакарского типа (фрондоморфы, дикинсониеморфы, трибрахиоморфы, билатериеморфы, палеопасцихниды) населяли зоны слабого волнения и течений продельты; сообщества намского типа (петалонамы, псаммокораллы, а также рангеоморфы) обитали в зонах продельтовых каналов. При внимательном изучении палеоэкологическая дифференциация мягкотелой биоты (зависимость таксономического состава ориктоценозов от литофаций) намечается в типовых местонахождениях позднепротерозойских ископаемых мягкотелых организмов на о. Ньюфаундленд, в Австралии и Намибии, однако для независимой проверки гипотезы автором выполнено исследование тафономических, палеоэкологических и палеогеографических особенностей поздневендских ископаемых макроорганизмов в наиболее информативных разрезах верхнего венда, расположенных на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы.

В соответствии с методикой комплексного литогенетического и палеоэкологического изучения (Геккель и др., 1962; Фролов, 1965), проведены детальные полевые исследования обнажений верхнего венда в юго-восточном Беломорье и на западном склоне Среднего Урала, а также доступных скважин, с охватом возможно большего числа разрезов по всей доступной площади палеобассейна северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы. Показано, что верхневендские отложения характеризуются четкой региональной фациальной изменчивостью, которая была прослежена от разреза к разрезу. Выделено пять фаций: фация тонкослоистых алевролитоглинистых отложений (характеризует обстановки низкоэнергетических подводных илистых равнин), фация тонкослоистых песчаных отложений (обстановки зоны волнения и течений), фация грубослоистых песчаных отложений (обстановки высокоэнергетического песчаного мел-

ководья и продельты), фацция тонкоритмичных песчано-алевритистых отложений (обстановки внешних шлейфов конусов выноса на периферии зоны высокоэнергетического песчаного мелководья) и фацция кослоистых песчанистых отложений (обстановки дельтовой равнины). Каждая фацция охарактеризована ориктоценозами поздневендских ископаемых макроорганизмов.

Показано, что фацции верхневендских отложений на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы принципиально не различались между собой по тафономическим характеристикам. Например, в изученных разрезах в каждой фацции установлены поверхности литифицированного микробиального субстрата, ориктоценозы на эрозионной подошве, объемные слепки в толще песчаников, однако в таксономическом составе ориктоценозов, характеризующих разные фацции, не наблюдается общих форм. Кроме того, разные типы ориктоценозов в пределах одной фацции имеют схожий таксономический состав. Следовательно, фациальная приуроченность ископаемых макроостатков в верхневендском осадочном бассейне северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы не является результатом избирательной сохранности, а отражает прижизненные экологические ассоциации макроорганизмов. В соответствии с выявленными особенностями фациальной изменчивости отложений и распределения в них ориктоценозов установлена палеоэкологическая дифференциация мягкотелой биоты. В ее составе выделено четыре типа ископаемых сообществ, характеризующих (а) низкоэнергетические подводные илистые равнины, (б) дистальные участки зоны волнения и течений, (в) каналы распределительной системы продельты и (г) дистальные участки дельтовой равнины.

Автором установлено, что различия в таксономическом составе ориктоценозов действительно обусловлены палеоэкологическими обстановками и не отражают тафономические условия. В соответствии с выявленными особенностями фациального строения отложений и распределения в них комплексов ископаемых остатков показана палеоэкологическая дифференциация ископаемой мягкотелой биоты в пределах всего осадочного бассейна северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы. В составе биотической ассоциации подводных илистых равнин присутствуют фрондоморфы *Aspidella khatyspytensis* и *Hiemalora stellaris* и рангеоморфный организм *Charnia masoni*, характерные для авалонской ископаемой биоты. Биотическая ассоциация зоны волнения и течений по таксономическому составу (фрондоморфы, дикинсониеморфы, трибрахиоморфы, билатериеморфы, палеопасцихниды) непосредственно сопоставима с эдиакарской ископаемой биотой. Наконец, комплекс ископаемых организмов зоны

продельтовых каналов представлен петалонами *Ventogyrus chistykovi*, *Onegia nenoxa*, *Pteridinium simplex* и *Palaeoplatoda segmentata*, рангеоморфным организмом *Rangea schneiderhoehni*, псаммокораллами *Nemiana simplex*, а также *Ausia fenestrata* и *Petalostroma kuibis*, которые позволяют проводить сравнение с намской ископаемой биотой. В процессе формирования осадочного бассейна фации, помимо миграции, временами испытывали более резкие и значительные перемещения. Вместе с фациями происходила закономерная смена таксономического состава ориктоценозов, демонстрируя при этом фациальную приуроченность. Перемещения фаций шли главным образом в одном (юго-западном, а на среднеуральском сегменте – в западном) направлении и имели общий регрессивный характер: относительно дистальные низкоэнергетические обстановки подводных равнин постепенно сменились обстановками зоны волнения и течения, на смену которым пришли обстановки продельтовой распределительной системы и дельтовой равнины. При этом происходила синхронная смена биотической ассоциации авалонского типа (подводные равнины) на биоту эдиакарского типа (зона волнения и течений) и биоту намского типа (зона продельтовых каналов). В отдельные моменты, однако, границы фаций перемещались в обратном, трансгрессивном направлении. Например, при замещении фации каналов на фацию песчаников и глин при формировании солзенской секвенции в юго-восточном Беломорье ископаемая биотическая ассоциация намского типа сменилась биотической ассоциацией эдиакарского типа.

Таким образом подтвердилась гипотеза о том, что авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биотические ассоциации имели планетарное распространение и представляли собой сообщества макроорганизмов, обитавшие в определенных экологических обстановках.

### Защищаемое положение 3

На основе сравнительного анализа палеонтологической летописи и по результатам изотопно-геохронологических исследований в опорных разрезах верхнего венда и его временных аналогов реконструированы этапы эскалационной коэволюции макросообществ и билатерий в позднем протерозое. Высокая сходимость результатов регионально-стратиграфических исследований на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы с установленными этапами эволюции макроскопических организмов позволяет предлагать редкинский, беломорский и котлинский горизонты в качестве прототипов хроностратиграфических подразделений глобального ранга.

Защищаемое положение 3 раскрыто в главе 10 диссертации.

Прогресс в изучении стратиграфии верхнепротерозойских отложений и расширение базы изотопно-геохронологических данных позволили в последние годы наметить следующую последовательность событий в эволюции поздненевендской макроскопической биоты (рис. 3).

**I этап (580–557 млн лет).** – Впервые в истории биосферы появляются сообщества макроорганизмов, при этом наибольшее разнообразие макроорганизмов было сосредоточено в обстановках подводных илистых равнин, где доминировали рангеоморфы, фрондоморфы и макрофиты. Об этом свидетельствуют комплексы ископаемых остатков, характеризующие формации Drook, Briscal, Mistaken Point, Trepassey и Fermeuse на о. Ньюфаундленд, формации Beacon Hill и Bradgate на о. Великобритания, лямицкую свиту юго-восточного Беломорья и перевалокскую свиту западного склона Среднего Урала. В этом же временном интервале в обстановках подводных илистых равнин встречены первые ископаемые следы передвижения с менисковым заполнением *Nenoxites* (Федонкин, 1976; Liu et al., 2010), которые образованы в результате активного перераспределения осадка в процессе формирования норы и заполнения ее позади роющего организма по мере продвижения. На заключительной фазе I этапа организмы начали заселять микробиальные субстраты в зоне волнения и течений. Макросообщества зоны продельтовых каналов, которые бы отвечали первому этапу, не обнаружены.

**II этап (557–550 млн лет).** – Второй этап выделяется как время максимального таксономического, экологического и количественного разнообразия поздненевендских макроскопических организмов. В этом временном интервале одновременно в разных обстановках существовали сообщества подводных илистых равнин, сообщества зоны волнения и течений и сообщества продельтовых каналов. Об этом, в первую очередь, свидетельствуют комплексы ископаемых остатков, характеризующие верхнюю подсвиту верховской свиты, зимнегорскую свиту и нижнюю подсвиту ергинской свиты юго-восточного Беломорья, свиту Rawnsley Quartzite Южной Австралии, чернокаменскую свиту на западном склоне Среднего Урала, могилевскую и ярышевскую свиты в Подольском Приднестровье, хатыспытскую свиту Оленекского поднятия Сибири и пачку Miaohе формации Doushantuo Южнокитайского микроконтинента. В этом же временном интервале в обстановках подводных илистых равнин билатериями был впервые запущен механизм интенсивного биоперемешивания осадка (Rogov et al., 2012). В составе макросообществ зоны продельтовых каналов в рассматриваемом временном интервале (557–550 млн лет) присутствуют разнообразные рангеоморфы (Grazhdankin, 2004; Grazhdankin, Seilacher, 2005; Droser et al., 2011). По всей видимости, сокращение разнообразия рангеоморф-

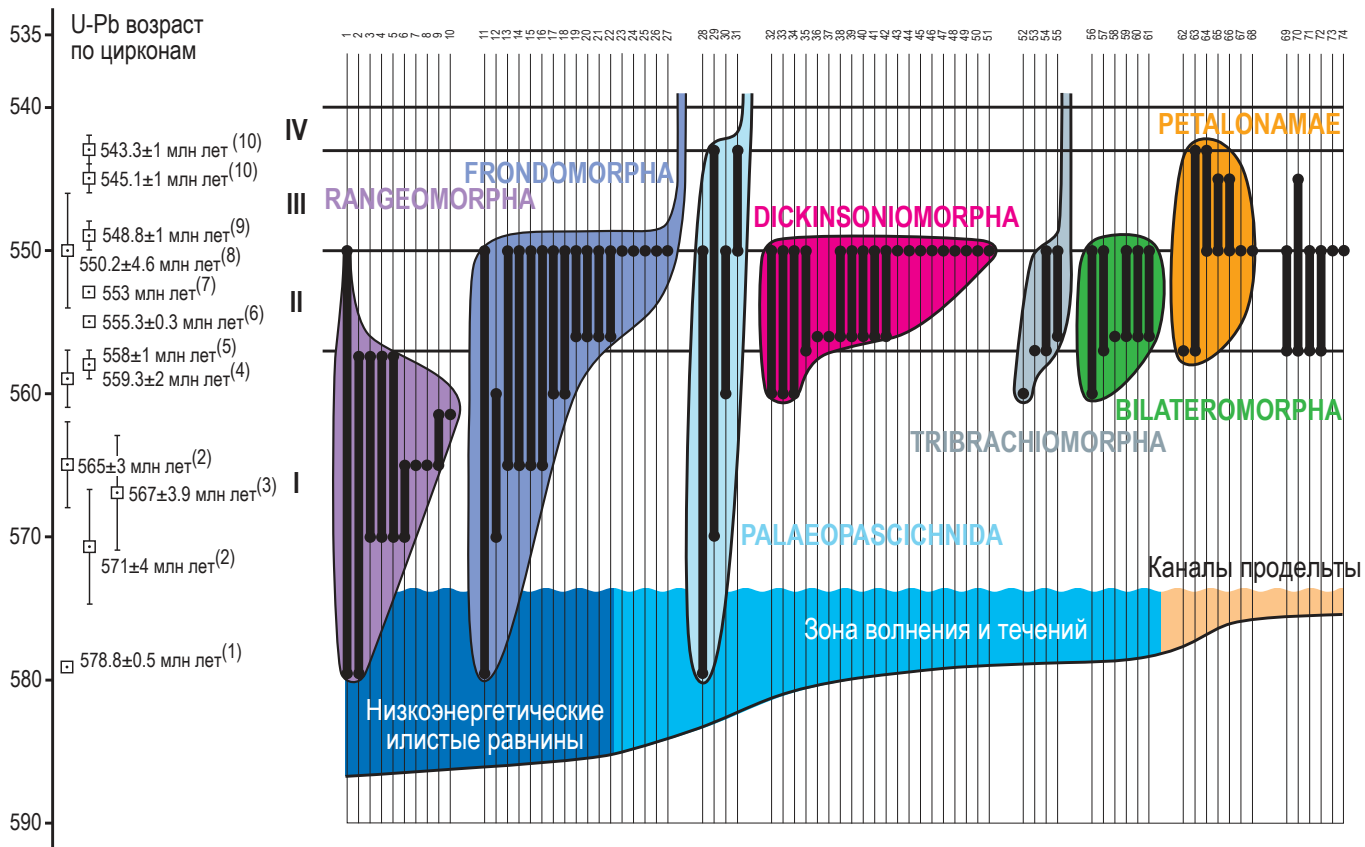




Рис. 3. Основные этапы эволюции сообществ и динамика биоразнообразия макро-сообществ в позднем венде.

Этапы: I – редкинский (580–557 млн лет); II – беломорский (557–550 млн лет); III – котлинский (550–543 млн лет); IV – ровенский (543–540 млн лет). U–Pb возраст по циркону: 1 – Drook Fm; 2 – Mistaken Point Fm; 3 – перевалокская свита; 4 – Beacon Hill Fm; 5 – верховская свита; 6 – зимнегорская свита; 7 – ярышевская свита; 8 – ергинская свита; 9 – Zaris Fm; 10 – Urusis Fm.

Группа Rangeomorpha: 1 – *Charnia masoni*, 2 – *Trepassia wardi*, 3 – *Bradgatia linfordensis*, 4 – *Fractofusus andersoni*, 5 – *Beothukis mistakensis*, 6 – *Frodnohyllas grandis*, 7 – *Parviscopa bonavistensis*, 8 – *Fractofusus misrai*, 9 – *Pectinifrons abyssalis*, 10 – *Avalofractus abaculus*, 68 – *Bomakellia kelleri*, 69 – *Rangea schneiderhoehni*.

Группа Frondomorpha: 11 – *Aspidella terranova*, 12 – *Charniodiscus spinosus*, 13 – *Charniodiscus procerus*, 14 – *Charniodiscus concentricus*, 15 – *Hiemalora stellaris*, 16 – *Mawsonites pleiomorphus*, 17 – *Aspidella khatyspytensis*, 18 – *Mawsonites spriggi*, 19 – *Vaizitsinia sophia*, 20 – *Protodipleurosoma wardi*, 21 – *Tateana spinosa*, 22 – *Mawsonites medusa*, 23 – *Aspidella karli*, 24 – *Mawsonites reticulatus*, 25 – *Lorenzinites rarus*, 26 – *Tateana inflata*, 27 – *Tateana randellensis*.

Группа Palaeopascichnida: 28 – *Orbisiana simplex*, 29 – *Palaeopascichnus delicatus*, 30 – «*Neonereites*», 31 – *Harlaniella podolica*.

Группа Dickinsoniomorpha: 32 – *Epibaion axiferus*, 33 – *Dickinsonia tenuis*, 34 – *Yorgia wagneri*, 35 – *Onega stepanovi*, 36 – *Karakhtia nessovi*, 37 – *Vendia rachiata*, 38 – *Lossinia lissetskii*, 39 – *Cyanorus singularis*, 40 – *Dickinsonia costata*, 41 – *Archaeaspinus fedonkini*, 42 – *Andiva ivantsovi*, 43 – *Ivovicia rugulosa*, 44 – *Dickinsonia lissa*, 45 – *Marywadea ovata*, 46 – *Spriggina flounderst*, 47 – *Phyllozoon hanseni*, 48 – *Tamga hamulifera*, 49 – *Paravendia janae*, 50 – *Praecambrium sigillum*, 51 – *Vendia sokolovi*.

Группа Tribrachiomorpha: 52 – *Triforillonia costellae*, 53 – *Albunares brunsaе*, 54 – *Tibrachidium heraldicum*, 55 – *Anfesta stankovskii*, 73 – *Vendoconularia triradiata*.

Группа Bilateromorpha: 56 – *Parvancorina minchami*, 57 – *Kimberella quadrata*, 58 – *Parvancorina sagitta*, 59 – *Armillifera parva*, 60 – *Temnoxa molliuscula*, 61 – *Solza margarita*.

Группа Petalonamae: 62 – *Palaeoplatoda segmentata*, 63 – *Onegia nenoxa*, 64 – *Swartpuntia germis*, 65 – *Namalia villiersiensis*, 66 – *Pteridium simplex*, 67 – *Ernietta plateauensis*, 68 – *Ventogyrus chistyakovi*.

Мешковидные организмы: 71 – *Petalostroma kuibis*, 72 – *Ausia fenestrata*. Группа Psammocorallia: 74 – *Nemiana simplex*.

ных организмов в низкоэнергетических обстановках подводных илистых равнин сопровождалось миграцией некоторых представителей группы в каналы распределительной системы. Примечательно, что рангеоморфы при этом перешли к эндобентосному образу жизни и в процессе экологической специализации к обитанию в толще осадка независимо от петалонам приобрели ладьевидную форму тела.

**III этап (550–545 млн лет).** – На третьем этапе биоперемещение осадка из относительно дистальных и низкоэнергетических обстановок подводных илистых равнин распространяется в проксимальные обстановки зоны волнения и течений. Комплексы с разнообразными ископаемыми следами жизнедеятельности установлены в верхней подсвите ергинской свиты юго-восточного Беломорья, в формации Urusis Намибии, нагорянской свите Подолии, формации Lublin Люблинского прогиба Польши. В ихноценозах, характеризующих отложения третьего этапа, представлены крупные следы поселений *Bergaueria*, *Astropolichnus* и *Skolithos*, широко распространены

меандрирующие внутриседиментационные следы с менисковым заполнением *Torrowangea* и горизонтальные следы “бульдозерения” осадка *Psammichnites* и впервые появляются следы *Treptichnus*, характеризующие принципиально новый тип поведения. Одновременно в обстановках зоны волнения и течений происходит резкое сокращение разнообразия мягкотелых организмов, причем полностью исчезают дикинсониеморфы, трибрахиоморфы и билатериеморфы. Обедненные макросообщества зоны волнения и течений, состоящие из палеопасцихрид, фрондоморф и макрофитов [“вендотениевая флора” (Гниловская и др., 1988)], продолжили существование до конца венда и, возможно, пережили рубеж венда и кембрия. Таксономически и количественно богатые сообщества макроорганизмов, характеризующие интервал геологического времени 550–545 млн лет, приурочены к высокоэнергетическим обстановкам каналов продельты. В составе сообществ представлены петалонамы, рангееморфы, псаммокораллы, мешковидные организмы, а также возможные представители филогенетической ветви трибрахиоморф. Ориктоценозы макрооосатков установлены в отложениях каналов продельты в верхней подсвите ергинской свиты юго-восточного Беломорья, в формациях *Dabis*, *Nudaus* и *Urusis* Намибии, а также в крутихинской подсвите чернокаменной свиты западного склона Среднего Урала, в мотской свите Прибайкалья и в Кордильерах Северо-Западных Территорий Канады. Обстановки обитания макросообществ на третьем этапе охватывали также дельтовые равнины, где сформировалась своеобразная, но еще слабо изученная ископаемая биота, представленная арумбериеморфными организмами.

Проведенный анализ палеонтологической летописи и изотопно-геохронологических данных показывает высокую сходимость результатов регионально-стратиграфических исследований на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы с установленными этапами эволюции макроскопических организмов. Редкинский, беломорский и котлинский горизонты с одной стороны отражают определенные эколого-палеогеографические обстановки палеобассейна, а с другой – определенные стадии развития биоты, и поэтому могут служить прототипами хроностратиграфических подразделений. Обращают на себя внимание общие тенденции в динамике разнообразия макрофитов и фрондоморф и закономерный тренд в изменении разнообразия вендобиионтов на протяжении всей поздневендской истории развития макросообществ. В начале редкинского века происходит резкое увеличение размеров независимо у макрофитов, фрондоморф и вендобиионтов (группа, объединяющая рангееморф, дикинсониеморф и петалонам). На рубеже редкинского и беломорского

веков установлена волна миграции вендобрионтов из подводных илистых равнин в зону волнения и течений и каналы прудельты, при этом разнообразие фронторморф и макрофитов синхронно возрастает. Начало котлинского века ознаменовалось резким сокращением разнообразия фронторморф и макрофитов и новой волной миграции вендобрионтов, на этот раз из зоны волнения и течений в более высокоэнергетические обстановки прудельты и подверженные периодическому осушению и колебаниям солености обстановки дельтовой равнины. Автор предполагает существование причинно-следственных связей между эволюцией макросообществ и экологической экспансией эуметазой. Уникальное сочетание метазойного уровня организации, подвижности и гетеротрофного способа питания обеспечила ведущую роль эуметазой в структуре и функционировании современных экосистем. Все организмы в разной степени трансформируют окружающую среду, однако благодаря способности к передвижению, высокой эффективности в переносе питательных веществ и энергии между трофическими уровнями (Vanni, 2002), способности контролировать состояние пищевой цепи в целом [концепция “трофического каскада” (Carpenter et al., 1985)] эуметазой стали могущественными конструкторами экосистем. К примеру, одно только перемешивание осадка роющими организмами (биотурбация) играет решающую роль в структуре и функционировании современных морских экосистем: изменяет физические свойства осадка и химический состав морской воды, приводит к дестабилизации химических градиентов в поровой среде осадка, способствует окислению органического вещества, нарушает режим реминерализации и потоки неорганического питательного вещества и улучшает продуктивность микрофитобентоса (Kristensen, 1988, 2000; Aller, 1994; Lohrer et al., 2004; Meysman et al., 2006a, b; Бреховских и др., 2008; Wilkinson et al., 2009). Роющие организмы модифицируют окружающую среду и регулируют доступ к ресурсам других организмов, являясь конструкторами новых экологических ниш и способствуя процессу видообразования (Erwin, 2008). Следуя теоретическим предпосылкам, появление в истории биосферы эуметазой, способных перемешивать осадок, должно было привести к фундаментальным макроэволюционным сдвигам и макроэкологическим трансформациям и дестабилизации бентосных микробных сообществ (Butterfield, 2007, 2011).

Можно предположить, что увеличение размеров тела независимо у водорослей и протистов и становление макросообществ в низкоэнергетических обстановках подводных илистых равнин в начале редкинского века было коэволюционно связано с появлением билатерий и что именно билатерии благодаря своим “инженерно-

конструкторским” возможностям трансформировать экосистемы усилили круговорот питательных веществ и форсировали процессы роста биоразнообразия, наращивания биомассы и укрупнения размеров тела организмов. При этом древнейшие билатерии в ископаемом состоянии не сохранились – палеонтологическая летопись представлена исключительно ископаемыми следами их жизнедеятельности.

Возникновение у билатерий способности к перемешиванию осадка на рубеже редкинского и беломорского веков могло стать главным фактором эволюции фрндоморф и макрофитов и вытеснения вендобиионтов из подводных илистых равнин в более высокоэнергетические обстановки продельты, в том числе – миграции рангееморф в обстановки каналов распределительной системы. Древнейшие признаки биоперемешивания осадка билатериями (ихнотекстуры) представлены извилистыми норами с менисковой структурой заполнения (*Nenoxites*) и установлены в отложениях подводных илистых равнин. Можно предположить, что роющая и ирригационная активность билатерий трансформировала структуру осадка, обусловила усиление процессов минерализации и окислительных процессов в осадке, что привело к диверсификации органов, при помощи которых фрндоморфные организмы закреплялись в субстрате, и, как следствие, к увеличению разнообразия самих фрндоморф. Сложнее себе представить причины вытеснения вендобиионтов. По всей вероятности, неподвижные вендобиионты не выдержали конкуренции за субстрат с энергетически более эффективными подвижными билатериями. С другой стороны, миграция в обстановки зоны волнения и течений и каналов продельты, по всей вероятности, привела к развитию у вендобиионтов разнообразных адаптаций к обитанию на поверхности микробиального субстрата и в условиях повышенной гидродинамической активности.

Исчезновение дикинсониеморф, трибрахиеморф и билатериеморф в обстановках зоны волнения и течений продельты в начале котлинского века можно объяснить как следствие экспансии в эти обстановки билатерий с роющим образом жизни и трансформации биотопов, в которых обитали бентосные макросообщества. Обращает на себя внимание, что в обстановках зоны волнения и течений исчезли именно дикинсониеморфы, а также другие организмы (трибрахиеморфы и билатериеморфы), которые зависели от микробиального субстрата, в то время как биотурбация в меньшей степени коснулась фрндоморф и палеопасцихнид, образ жизни которых не был связан с микробиальными матами. В продельтовых каналах, не затронутых биотурбацией, в это время продолжала эволюционировать своеобразная эндобентосная экологическая ассоциация, известная в лите-

ратуре как “биота намского типа”, в которой, наряду с петалонамами, присутствовали потомки мигрантов из более дистальных обстановок (например, рангеоморфы *Rangea schneiderhoehni*, трибрахиоморфы *Vendoconularia triradiata*). Обстановки каналов распределительной системы послужили рефугиями, где вендобиионты просуществовали до конца венда, пока не были окончательно вытеснены билатериями в результате “агрономической революции” (Seilacher, Pflüger, 1994).

Таким образом, по мнению автора поздневендские бентосные сообщества макроорганизмов своим появлением скорее всего обязаны эуметазоям (билатериям), и именно эуметазои потом трансформировали эти сообщества (и не только сообщества, а биогеоценозы в целом) и привели к созданию экосистем фанерозойского типа. Редкинский, беломорский и котлинский века рассматриваются автором как основные этапы коэволюции подвижных трехслойных эуметазой (билатерий) и макробентоса, представленного макрофитами, гигантскими протистами и примитивными двухслойными эуметазоями.

### **Заключение**

1. Фациально-генетический анализ верхнего венда северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы (юго-восточное Беломорье, Лузская седловина, Вычегодский прогиб) и западного склона Среднего Урала позволил детализировать строение осадочной толщи, условия и обстановки осадконакопления, конфигурацию и палеогеографию бассейна на разных этапах осадконакопления. Показано, что в целом верхневендские отложения северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы накапливались в обстановках крупной подводной донно-флювиальной дельтовой системы, прodelьты и подводных илистых равнин. Несмотря на привлекательность идеи об отнесении этих отложений к флишу и молассам, генетический состав сыльвицкой и валдайской серий точнее всего, по мнению автора, отвечает шлировым формациям в современном понимании. Установлены латеральные фациальные ряды и поверхности резкой миграции фаций, которые уверенно трассируются в обнажениях и скважинах, демонстрируя тем самым относительную выдержанность седиментационных систем вдоль северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы. В результате проведенных исследований верхний венд изученных регионов разделен на агминскую, солзенскую, зимнегорскую и ергинскую секвенции. Разработана секвенс-стратиграфическая модель строения осадочного выполнения, согласно которой седиментационный бассейн в позднем венде представлял собой предгорный прогиб, образовавшийся в результате погружения северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы под нагрузкой надвинутых на нее масс Тимано-Печорского

складчатого сооружения, а снос обломочного материала происходил со стороны воздымавшегося складчатого сооружения.

2. По результатам проведенных регионально-стратиграфических и литогенетических исследований, трассирования латеральных фациальных рядов и фациальных несогласий верхний венд северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы и западного склона Среднего Урала предлагается расчленять на редкинский, беломорский и котлинский горизонты, каждый из которых отвечает определенному этапу формирования осадочного бассейна и отличается палеонтологической характеристикой. Разработанная схема реализует принципы региональной стратиграфии, закрепленные Стратиграфическим кодексом, и является историко-геологической моделью верхнего венда Восточно-Европейской платформы. Редкинский горизонт объединяет трансгрессивный тракт (песчаники, гравелиты и диамиктиты) и тракт высокого стояния уровня моря агминской секвенции, охарактеризован богатыми комплексами уплощенных органостенных макрофоссилий и своеобразным комплексом акантоморфных акритарх, в то время как остатки мягкотелых организмов и ископаемые следы жизнедеятельности отличаются сравнительно бедным разнообразием. Беломорский горизонт объединяет тракт низкого стояния, трансгрессивный тракт и тракт высокого стояния солзенской секвенции, тракт низкого стояния зимнегорской секвенции и трансгрессивный тракт ергинской секвенции, характеризуется максимальным таксономическим, экологическим и количественным разнообразием ископаемых макроорганизмов за всю историю развития палеобассейна северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы. Котлинский горизонт представляет собой тракт высокого стояния ергинской секвенции, отличается низким таксономическим и количественным разнообразием ископаемых мягкотелых организмов, а ихноценозы, наоборот, характеризуются относительным разнообразием типов поведения и крупными размерами ископаемых следов. Ровенский горизонт на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы на палеонтологическом материале не установлен. Котлинский горизонт, по всей вероятности, перекрывается лонтоваским горизонтом нижнего кембрия.

3. Таксономический состав ориктоценозов представителей позднепротерозойской ископаемой макроскопической биоты в разрезах валдайской и сылвицкой серий в первую очередь отражает фациально-генетические особенности вмещающих отложений, не подчиняется палеогеографической зональности и не определяется избирательным действием тафономических факторов. В соответствии с выявленными особенностями фациальной изменчивости отложений и распределения в них ориктоценозов установлена палеоэкологическая

дифференциация мягкотелой биоты. В ее составе можно выделить четыре типа ископаемых сообществ, характеризующих (а) низкоэнергетические подводные илистые равнины, (б) дистальные участки зоны волнения и течений (внешние шлейфы волнового разноса), (в) каналы распределительной системы продельты и (г) дистальные участки дельтовой равнины. На примере изученных разрезов показано, что имеющие глобальное распространение авалонская, эдиакарская и намская ископаемые биотические ассоциации, которые традиционно рассматриваются как последовательно сменяющие друг друга во времени комплексы организмов, в первую очередь приурочены к определенным обстановкам осадконакопления и в течение длительного времени существовали одновременно, но в разных биотопах. Авалонская ископаемая биота характеризует зоны низкоэнергетических подводных илистых равнин, эдиакарская – дистальные участки зоны волнения и течений, и намская – зоны каналов распределительной системы продельты.

4. Редкинский, беломорский и котлинский горизонты отражают смену эколого-палеогеографических обстановок палеобассейна на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы и отвечают основным этапам эскалационной коэволюции маакросообществ и билатерий, и поэтому могут служить прототипами хроностратиграфических подразделений. В частности, редкинский горизонт в объеме агминской секвенции по палеонтологической характеристике и возрастным рамкам (580–557 млн лет) отвечает первому этапу, когда в обстановках подводных илистых равнин появились билатерии и одновременно сформировалась авалонская экологическая ассоциация макроорганизмов. Беломорский горизонт в объеме солзенской и зимнегорской секвенций и трансгрессивного тракта ергинской секвенции характеризует второй этап эволюции макробентоса (557–550 млн лет), в начале которого в обстановках илистых равнин у билатерий развилась способность к перемешиванию осадка (появление в осадочной летописи ихнотекстур) и произошло резкое изменение структуры авалонской ассоциации, а в более высокоэнергетических обстановках зоны волнения и течений и каналов распределительной системы сформировались эдиакарская и намская экологические ассоциации макроорганизмов. Котлинский горизонт в объеме тракта высокого стояния ергинской секвенции является отражением третьего этапа (550–545 млн лет), в начале которого активное перемешивание осадка билатериями распространилось в зону волнения и течения, где произошло резкое изменение структуры эдиакарских сообществ, а в обстановках каналов распределительной системы продолжала эволюционировать своеобразная намская эндобентосная экологическая ассоциация, существовавшая до конца котлинского века.

## Основные публикации по теме диссертации

1. Grazhdankin, D. V. Reconstruction of biotopes of ancient Metazoa of the late Vendian White Sea biota [Text] / D. V. Grazhdankin, A. Yu. Ivantsov // *Paleontological Journal*. – 1996. – V. 30. – No. 6. – P. 676–680.
2. Иванцов, А. Ю. Новый представитель петалонам из верхнего венда Архангельской области [Текст] / А. Ю. Иванцов, Д. В. Гражданкин // *Палеонтологический журнал*. – 1997. – № 1. – С. 3–18.
3. Гражданкин, Д. В. Новое местонахождение остатков поздневендских мягкотелых организмов на Онежском полуострове [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. А. Бронников // *Доклады Академии наук*. – 1997. – Т. 357. – № 6. – С. 792–796.
4. Grazhdankin, D. V. The Ediacaran genus *Inaria*: a taphonomic/morphodynamic analysis [Text] / D. V. Grazhdankin // *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*. – 2000. – V. 216. – No. 1. – P. 1–34.
5. Martin, M. W. Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: Implications for metazoan evolution [Text] / M. W. Martin, D. V. Grazhdankin, S. A. Bowring [et al.]. // *Science*. – 2000. – V. 288. – P. 841–845.
6. Grazhdankin, D. Underground Vendobionta from Namibia [Text] / D. Grazhdankin, A. Seilacher // *Palaeontology*. – 2002. – V. 45. – No. 1. – P. 57–78.
7. Seilacher, A. Ediacaran biota: the dawn of animal life in the shadow of giant protists [Текст] / A. Seilacher, D. Grazhdankin, A. Legouta // *Paleontological Research*. – 2003. – V. 7. – No. 1. – P. 43–54.
8. Grazhdankin, D. Patterns of distribution in the Ediacaran biotas: facies versus biogeography and evolution [Text] / D. Grazhdankin // *Paleobiology*. – 2004. – V. 30. – No. 2. – P. 203–221.
9. Гражданкин, Д. В. Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье [Текст] / Д. В. Гражданкин // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. – 2003. – Т. 11. – № 4. – С. 3–23.
10. Grazhdankin, D. Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland [Text] / D. Grazhdankin // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica* / ed. by D. G. Gee, V. Pease. – London : The Geological Society, 2004. – P. 37–46.
11. Grazhdankin, D. A re-examination of the Nama-type Vendian organism *Rangea schneiderhoehni* [Text] / D. Grazhdankin, A. Seilacher // *Geological Magazine*. – 2005. – V. 142. – No. 4. – P. 1–12.



12. Гражданкин, Д. В. Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-Восточное Беломорье) [Текст] / Д. В. Гражданкин, В. Н. Подковыров, А. В. Маслов // Литология и полезные ископаемые. – 2005. – № 3. – С. 267–280.
13. Гражданкин, Д. В. Беломорская биота эдиакарского типа на Среднем Урале [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов, Т. М. Р. Мастилл, М. Т. Крупенин // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 401. – № 6. – С. 784–788.
14. Ронкин, Ю. Л. U–Pb (SHRIMP II) возраст цирконов из пепловых туфов чернокаменной свиты сылвицкой серии венда (Средний Урал) [Текст] / Ю. Л. Ронкин, Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов [и др.]. // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 411. – № 3. – С. 354–359.
15. Маслов, А. В. Пепловые туфы в отложениях сылвицкой серии верхнего венда (Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий, Средний Урал) [Текст] / А. В. Маслов, Д. В. Гражданкин, Ю. Л. Ронкин [и др.]. // Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 45–70.
16. Conway Morris, S. Enigmatic worm-like organisms from the Upper Devonian of New York: an apparent example of Ediacaran-like preservation [Text] / S. Conway Morris, D. Grazhdankin // Palaeontology. – 2005. – V. 48. – Pt. 2. – P. 395–410.
17. Conway Morris S. A post-script to the enigmatic Protonympha (Devonian; New York): is it an arm of the echinoderms? [Text] / S. Conway Morris, D. Grazhdankin // Palaeontology. – 2006. – V. 49. – Pt. 6. – P. 1335–1338.
18. Grazhdankin, D. Ediacaran microbial colonies [Text] / D. Grazhdankin, G. Gerdes // Lethaia. – 2007. – V. 40. – P. 201–201.
19. Гражданкин, Д. В. Ископаемые следы жизнедеятельности и верхняя граница венда в Юго-Восточном Беломорье [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. В. Краюшкин // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 416. – № 4. – С. 514–518.
20. Гражданкин, Д. В. Миаохонская экологическая ассоциация позднего венда Восточно-Европейской платформы [Текст] / Д. В. Гражданкин, К. Е. Наговицин, А. В. Маслов // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 417. – № 1. – С. 73–78.
21. Grazhdankin, D. V. Carbonate-hosted Avalon-type fossils in arctic Siberia [Text] / D. V. Grazhdankin, U. Balthasar, K. E. Nagovitsin, B. V. Kochnev // Geology. – 2008. – V. 36. – No. 10. – P. 803–806.
22. Маслов, А. В. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна [Текст] / А. В. Маслов, Д. В. Гражданкин, В. Н. Подковыров

- [и др.]. // Литология и полезные ископаемые. – 2008. – № 3. – С. 290–312.
23. Наговицин, К. Е. Ediacaria в сибирском гипостратотипе рифея [Текст] / К. Е. Наговицин, Д. В. Гражданкин, Б. Б. Кочнев // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 419. – № 6. – С. 794–798.
  24. Конторович, А. Э. Разрез переходных венд-кембрийских отложений в восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы (по результатам бурения параметрической скважины Восток-3) [Текст] / А. Э. Конторович, А. И. Варламов, Д. В. Гражданкин [и др.]. // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 12. – С. 1238–1247.
  25. Гражданкин, Д. В. Секвентная стратиграфия верхнего венда Восточно-Европейской платформы [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 426. – № 1. – С. 66–70.
  26. Гражданкин, Д. В. Строение и этапы формирования вендских отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов, М. Т. Крупенин // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2009. – Т. 17. – № 5. – С. 20–40.
  27. Маслов, А. В. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского форландового бассейна Тиманского орогена [Текст] / А. В. Маслов, Д. В. Гражданкин, В. Н. Подковыров [и др.]. // Геохимия. – 2009. – № 12. – С. 1294–1318.
  28. Гражданкин, Д. В. Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала) [Текст] / Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов, М. Т. Крупенин, Ю. Л. Ронкин – Екатеринбург : УрО РАН, 2010. – 280 с.
  29. Grazhdankin, D. V. Ediacaran biota [Text] / D. V. Grazhdankin // Encyclopedia of Geobiology / ed. by J. Reitner, V. Thiel. – Dordrecht : Springer Science + Business Media B.V., 2011. – P. 342–348.
  30. Марусин, В. В. Редкинский этап эволюции вендских макрофитов [Текст] / В. В. Марусин, Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 436. – № 5. – С. 658–664.
  31. Гражданкин, Д. В. Котлинский горизонт на Южном Урале [Текст] / Д. В. Гражданкин, В. В. Марусин, Дж. Меерт [и др.]. // Доклады Академии наук. – 2011. – № 440. – № 2. – С. 201–206.
  32. Подковыров, В. Н. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда южной части Вычегодского прогиба [Текст] / В. Н. Подковыров, Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов // Литология и полезные ископаемые. – 2011. – № 5. – С. 484–504.

Технический редактор Е.В. Бекренёва

---

Подписано в печать 20.12.2011  
Формат 60×84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс  
Печ.л. 2,0. Тираж 130. Зак. № 71.

---

ИНГГ СО РАН, ОИТ, 630090, г. Новосибирск, пр-т. Ак. Коптюга, д. 3