

## Возрастное скольжение слоев: факты и геологические следствия (к 150-летию фундаментальной работы Н.А. Головкинского)

С.О. Зорина<sup>1\*</sup>, В.П. Алексеев<sup>2</sup>, Э.О. Амон<sup>3</sup>, К.А. Хасанова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка, Москва, Россия

<sup>4</sup>Нефтесервисная компания Schlumberger, Тюмень, Россия

Базовые положения основного фациального закона, определяющего взаимоотношения фаций осадочных пород в бассейне седиментации по латерали и стратиграфической вертикали, изложены российским геологом Н.А. Головкинским полтора века назад. Теоретические положения и взгляды Головкинского не утратили своего значения и актуальности в настоящее время. В статье рассмотрен важный аспект диахронности (гетерохронности) слоевых образований, их лито- и биостратиграфических границ. Предложен методический подход измерения степени диахронности посредством определения «окна возрастного скольжения». Показано, что разработки Головкинского плодотворно развиваются в рамках сейсмостратиграфии и сиквенстратиграфии; их главный контент остается востребованным в свете новых реалий познавательного процесса (нелинейная наука, НБИКС-конвергенция, эндовидение).

**Ключевые слова:** закон Головкинского, фация, седиментация, диахронный, когнитивный процесс

**Для цитирования:** Зорина С.О., Алексеев В.П., Амон Э.О., Хасанова К.А. (2018). Возрастное скольжение слоев: факты и геологические следствия (к 150-летию фундаментальной работы Н.А. Головкинского). *Георесурсы*, 20(4), Ч.1, с. 278-289. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.278-289>

### К истории вопроса

Полтора века назад состоялось событие, большое значение которого геологической общественностью России было понято и осознано значительно позже. 20 декабря 1868 г. Николаем Алексеевичем Головкинским (1834-1897 гг.), приват-доцентом и заведующим Геологическим кабинетом и кафедрой геогнозии (геологии) и палеонтологии Императорского Казанского университета, была защищена и опубликована докторская диссертация «О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна» (Головкинский, 1868). В этой работе впервые в российской геологии использовано в практических и теоретических целях понятие «фация», введенное ранее в геологическую науку швейцарским геологом А. Грессли (Amanz Gressly, 1814-1865 гг.). В конце 1830-х гг. Грессли установил, что разновозрастным отложениям присущи палеонтологическая и литологическая неоднородность при их прослеживании по латерали, и различающиеся части разновозрастных слоев он предложил называть «фациями» (Шатский, 1986; Cross, Homewood, 1997). Н.А. Головкинский, принявший одним из первых среди российских геологов «фаціальную теорию и методологию», сделал следующий, по-настоящему знаменательный шаг. Он состоял в установлении «обратной» закономерности, гласящей, что границы литологически и палеонтологически однородных слоев при их прослеживании по латерали закономерно «скользят» во времени.

Оценивая возрастное скольжение биостратиграфических границ, он писал: «... с каждым новым исследованием открывались новые факты, обнаруживающие неправильность учения об одновременном существовании и одновременном исчезновении повсеместных фаун. Понятие о медленном изменении органического населения и о фациях постепенно вырабатывалось и теперь едва ли какой-нибудь геолог..., будет отвергать для различных местностей разновременное существование одинаковых форм и одновременность различных» (Головкинский, 1868, с. 152). Таким образом, Головкинский обосновал первичную асинхронность любой биостратиграфической границы. При этом возрастное скольжение границ связывалось не только с фациальной дифференциацией разновозрастных толщ, но и с палеобиогеографическими особенностями фаун.

Сам Н.А. Головкинский явно отдавал себе отчет в том, что изложенные им идеи находятся в противоречии и жестком противостоянии с устоявшимися «обыкновенными» взглядами на процесс осадконакопления. Сформулировав тезис: «общепринятое убеждение в последовательности образования последовательно налегающих друг на друга слоев – *не верно*» (Головкинский, 1868, с. 125; курсив автора), он здесь же оговорился, что этот термин «повидимому, парадоксальный» (там же, сохранена орфография автора).

Российские исследователи, современники Головкинского, не поняли и не приняли эту революционную идею, хотя защита диссертации, где она была изложена, прошла успешно. В итоге собственно основной фациальный закон, который напрямую выводится из

\* Ответственный автор: Светлана Олеговна Зорина  
E-mail: [svzorina@yandex.ru](mailto:svzorina@yandex.ru)

© 2018 Коллектив авторов

представлений Н.А. Головкинского, был сформулирован А.А. Иностранцевым спустя четыре года, причем для иного механизма осадконакопления (Иностранцев, 1872). В мировой же литературе он известен под названием закона И. Вальтера, по имени «переоткрывшего» его немецкого ученого-геолога (Johannes Walther, 1860-1937 гг.) и изложившего в своей капитальной сводке (Walther, 1893-1894). Здесь уместна аналогия с научными достижениями выдающегося русского врача-невролога и психиатра В.М. Бехтерева, занимавшего в 1885-1893 гг. кафедру психиатрии Казанского университета, и произнесшего на торжественном годовом собрании в 1888 г. актовую речь “Сознание и его границы”, в которой он, задолго до основателя психоанализа З. Фрейда, ввел понятие бессознательного. Наиболее лаконичная и исчерпывающая современная формулировка данного закона выглядит следующим образом: «Фациальные разновидности осадочной породы любого бассейна седиментации сменяются по стратиграфической вертикали в том же порядке, как и по горизонтали» (Шарапов, 1989, с. 97).

В послевоенное советское время к «забытому» закону Головкинского было привлечено внимание, и он стал известен в конце 1940-х гг. благодаря статьям Г.И. Сократова, доцента Ленинградского горного института (Сократов, 1949 и др.). Видный советский нефтяник и литолог Н.Б. Вассоевич, предлагая две модели режима слоенакопления – миграционную (о ней, собственно, идет речь в работе Головкинского) и мутационную (ее предложил Иностранцев), прямо указывал: «Знакомством с работой Н.А. Головкинского я обязан Д.И. Выдрину (Грозный) и Г.И. Сократову (Ленинград)» (Вассоевич, 1949, с. 129).

К настоящему времени опубликовано большое количество работ разного объема и содержания, в которых рассматривается история, существо и значение основного фациального закона, и среди которых особенно отметим исследования выдающегося отечественного седиментолога С.И. Романовского (Романовский, 1979, 1985 и др.). Некоторые из публикаций, посвященные фациальному закону, принадлежат перу авторов настоящей статьи, например (Алексеев В.П., 2013; Алексеев, Амон, 2017 и др.).

В настоящей работе, избегая повторения главных выводов, изложенных в публикациях С.И. Романовского и других исследователей, мы освещаем некоторые актуальные аспекты и закономерности, следующие из представлений Н.А. Головкинского. Речь идет о диахронности (или в более общем случае гетерохронности) слоевых образований и лито- и биостратиграфических границ, и методической возможности измерения ее (диахронности) степени, каковая может быть условно и весьма приближенно названа «окном возрастного скольжения». Это рассматривается в преломлении через «призму времени», охватывающую как прошлое, так и будущее.

### Возрастное скольжение границ

Вопросы выявления и признания фактов гетерохронности границ слоев и асинхронности коррелируемых геологических тел и событий, измеряемыми любыми из используемых в стратиграфической практике методов (морфолито-, био-, климато-, магнито-, сейсмо-, радиохроно- и др.), – являются одними из самых «неудобных» и «нежелательных» для обсуждения в отечественной

стратиграфии и общей геологии (Алексеев, Амон, 2008, 2017). Совершенно аналогичная ситуация сложилась и с неохотным признанием существенной роли перерывов в реконструкции истории седиментогенеза в осадочных бассейнах (Барабошкин и др., 2002; Амон, Алексеев, 2012; Алексеев, Амон, 2017). Это во многом связано с доминированием в сознании специалистов линейных парадигм, и, в частности, с верой в непогрешимость так называемой «луковичной» модели концентрически-слоистого строения Земли А.Г. Вернера (Abraham Gottlob Werner, 1749-1817 гг.), на столетия захватившей умы геологов. Как заметил С.В. Мейен: «Одновозрастность разобренных участков одного слоя *должна* была приниматься... как *нечто само собой разумеющееся*» (Мейен, 1989, с. 140, выделено нами – авт.). В.Н. Верещагин писал относительно свит: «Свита *должна* характеризоваться *единством времени* образования, и, таким образом, нижняя и верхняя границы свиты (в полном ее объеме) *должны* быть *изохронными*. Допускается лишь незначительное различие по возрасту базальных слоев свиты» (Верещагин, 1980, с. 134, выделено нами – авт.). Подобная линейная развертка в метрике 2D (two dimensions) в наиболее общем виде является следствием принципа Стенона (Niels Stensen, 1638-1686 гг.), согласно которому в пространстве, заполненном горной породой, градиент и вектор времени в любой точке направлены против (оппозитно, opposite) силы тяжести, и изохронные поверхности представляют собой горизонтальные плоскости (Гоманьков, 2007).

Заслуживает внимания факт, что в изданиях Стратиграфического кодекса СССР-России (1977, 1992, 2006 годы издания) для перерывов, диахронности и цикличности не нашлось места, точно также и в обзоре, излагающем достижения и основные проблемы, связанные с совершенствованием Общей стратиграфической шкалы (ОСШ) России (Жамойда, 2013). Только лишь в дополнениях к кодексу появилось Приложение 11 «Стратиграфические перерывы» (Дополнения к Стратиграфическому кодексу..., 2000, с. 51-54), имеющее, в общем-то, формальный и обезличенный характер. Тема диахронности слоевых образований практически не нашла отражения в тематическом сборнике статей с многообещающим названием «Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи» (2013 г.). Лишь в статье А.Ю. Гладенкова в этом сборнике вкратце обозначена «Проблема диахронности границ биостратиграфических зон», для решения которой справедливо предложено: «В конкретных ситуациях нужно руководствоваться здравым смыслом...» (Гладенков, 2013, с. 46).

В переводном Международном стратиграфическом справочнике, который в нашей литературе иногда называли «Кодексом» или «Руководством», тема «диахронности» затронута очень осторожно – например, она присутствует в полупризнании, что биофации «могут быть диахронными» (Международный стратиграфический справочник..., 2002, с. 24), или в констатации, что «границы подразделений, ограниченных несогласиями, всегда диахронны, в большей или меньшей степени, и поэтому никогда не соответствуют границам хроностратиграфических подразделений» (там же, с. 36).

Между тем, в современной стратиграфической науке диахронность (diachronism, diachrony, diachroneity) слоев

и стратонов понимается как широко распространенное явление, одинаково присущее и литосфере, и палеобиосфере (Алексеев, Амон, 2008, 2017; Амон, Алексеев, 2012 и др.). Это положение подтверждается многочисленными примерами из новой палеонтолого-стратиграфической литературы. Известный стратиграф Ф.М. Градштейн (F.M. Gradstein) в главе «Биохронология (Biochronology)» фундаментального труда «The Geologic Time Scale 2012» специально заметил, что диахронность свойственна биособытиям и наглядно-отчетливо проявляется по несопадению их границ магнитохроном и пикам изотопной хронометрии при сопоставлении двух и более разрезов (Gradstein et al., 2012, p. 44). В.С. Цыганко (2007) считал, что диахронность границ может рассматриваться в качестве универсального свойства свит, серий и других стратонов, и предлагал выделять особый тип скользящих границ – границы парастратиграфические. С.О. Зорина привела примеры типичной диахронности лито- и биостратонов средней юры, нижнего мела и палеоцена в Поволжье (Зорина, 2006).

По мнению А.Ю. Гужикова, асинхронность границ палеонтологического обоснования, считавшихся одно-возрастными, неоднократно наблюдалась в разобренных разрезах с помощью независимых методов, при этом временной сдвиг мог достигать 10 млн лет (Гужиков, 2013, 2016; Гужиков, Барабошкин, 2006). А.С. Алексеев отмечал, что из-за «очевидной диахронности границ, выбранных на палеонтологической основе, приоритет стал отдаваться физическим маркерам – палеомагнитным, хеостратиграфическим и прочим событиям, как считается, изохронного характера» (Алексеев А.С., 2013, с. 10). Предложена прямая рекомендация по совершенствованию субрегиональной стратиграфической схемы – необходимо проводить контроль за диахронностью границ картируемых подразделений и объемом стратиграфических перерывов (Первушов и др., 2013). Высказано верное соображение, что батиметрическая дифференцированность формирует лито- и биофациальную неоднородность отложений, их пространственную миграцию при изменениях уровня моря, и создает диахронность стратонов априори, в полном соответствии со «скольжением» их границ по Н.А. Головкинскому (Сухов и др., 2013).

Североамериканский Стратиграфический кодекс не только вводит, объясняет и кодифицирует понятия «диахронность», «диахронные категории», но и регламентирует основные операции с диахронными единицами (North American Stratigraphic Code..., 2005, Articles 64, 91-94).

В настоящее время основной фациальный закон и выводы Н.А. Головкинского относительно скольжения границ слоевых ассоциаций приобрели особое звучание и значение в связи с введением и широким распространением в повседневной геологической практике Международной Шкалы Геологического Времени (Geologic Time Scale, GTS2012) (Gradstein et al., 2012; Ogg et al., 2016). При конструировании GTS2012 использованы новые и новейшие, подчас спорные, теоретические разработки в стратиграфии; в частности, широко применен событийный подход (event stratigraphy, biological, fossil, climatic, magnetic, geochemical and other events), и понятию «ярус» придан однозначный хроностратиграфический смысл. Нижние границы ярусов в фанерозое, систем в

протерозое и эратем в архее охарактеризованы конкретными датами астрономического (абсолютного) возраста (Age, Ma). Большая часть ярусных границ фанерозоя маркирована точками GSSP-стандарта (GSSP – Global boundary Stratotype Section and Point, или ТГСТГ – точка глобального стратотипа границы). Ведется строгий учет-реестр GSSP, их стратиграфических и географических координат; они получили очень популярное метафорическое название «золотых гвоздей» (Алексеев, Амон, 2017; Зорина, 2015; Gradstein et al., 2012). Проявляется двуединая сущность стандарта: с одной стороны, это породная последовательность, а с другой – точка в нем, и считается, что «золотые гвозди» прослеживаются в осадочных бассейнах посредством руководящего корреляционного события (principal correlative event) (Gradstein et al., 2012).

Многие стратиграфы понимают и принимают природу и принципы шкалы GTS2012 слишком буквально и прямолинейно, совершенно в духе традиционной линейной парадигмы «луковичной модели». Но такое ее восприятие вступает в противоречие с законом Головкинского, в котором содержится предупреждение, что границы лито- и биостратонов испытывают возрастное скольжение в большей или меньшей степени. Например, принимая во внимание обстоятельство, что скорости расселения фоссильных организмов не были мгновенными, приходится признать, что чем пространственно дальше от стратотипа и точки GSSP фиксируется первое появление FAD (FAD – first appearance datum) какого-либо вида-индекса, на основе которого в стратотипе проведена ярусная граница, то тем больше будет отклонена эта точка FAD от виртуальной изохронной плоскости (Зорина, 2006, 2015).

Общеизвестно и не требует дополнительных обоснований, что разные фаунистические группы в разные геологические эпохи осваивали морские и континентальные бассейны осадконакопления и исчезали из них с разной скоростью, поэтому границы, проведенные на основе прослеживания биособытий, являются в различной степени диахронными. При этом последовательности биозон, составляющие основу для большинства местных и провинциальных зональных шкал, могут корректно применяться для возрастной корреляции лишь в пределах ограниченной местности (осадочного бассейна или его части), но не для глобальных корреляций. Это означает, что прослеживание ярусных границ в глобальном масштабе на основе биостратиграфического подхода затруднительно, поскольку в основном используется сравнительно медленная смена одного биособытия другим (Зорина, 2006, 2015).

Это затруднение можно преодолеть, если применить метод поиска и идентификации в разрезах следов высокоскоростных событий или явлений (Зорина, 2006). Сопоставляя, например, последовательности магнитных инверсий с последовательностями значительно более низкоскоростных событий, к категории которых отнесены биособытия, можно не только показать «медленность» биособытий, но и определить «окно возрастного скольжения» границ отдельных биозон и свит. При сопоставлении используется метод выявления стратиграфического признака с «наибольшим весом», на роль которого отбираются те события, которые происходят в наименьший отрезок времени (Мейен, 1981, 1989), иными словами, с наибольшей скоростью распространения (Зорина, 2006, 2015).

Такое сопоставление было проведено для разрезов нижнемеловых аптских отложений востока Русской плиты и Западного Средиземноморья, по которым были составлены магнитостратиграфические и аммонитовые шкалы (Гужиков, Барабошкин, 2006). Ключом для ответа на вопрос, какая из аммонитовых зон, выявленных в обеих областях, наиболее диахронна и насколько, стала идентификация магнитного хрона М0. Оказалось, что в соответствии с разным положением данного хрона в аммонитовых шкалах рассматриваемых областей, диахронность аммонитовой зоны *deshayesi* на востоке Русской плиты достигает ~6 млн лет.

Значительное возрастное скольжение нижней границы нижнемеловой альбской ханты-мансийской свиты выявлено по фораминиферам в Западносибирском осадочном мегабассейне. Здесь ингрессия внутреннего моря осуществлялась в альбе с небольшими скоростями, и «окно скольжения» между точками наблюдений в стратотипической местности в районе г. Ханты-Мансийск и районом юга Зауралья составляет ~8 млн лет (Амон, 2005).

Ярко выраженная диахронность нижних границ свит установлена в палеогеновой песчано-глинисто-кремнистой толще Поволжья (Зорина, 2006; Зорина, Афанасьева, 2006; Зорина и др., 2018) (Рис. 1).

Сопоставление высокоскоростных биособытий – наопланктонных фаз – с менее длительными седиментационными событиями (формирование нижних границ свит) позволило установить, что окончание формирования основания верхнесызранской свиты и начало образования

подшвы саратовской свиты совпадают во времени и соответствуют началу фазы NP5 шкалы Мартини (Martini, 1977) или фазы CP4 шкалы Бакри (Bakry, 1975). Другими словами, виртуальная изохронная линия, проведенная по основанию зоны NP5, пересекает всю верхнесызранскую свиту от подошвы до кровли. «Окно скольжения» границ верхнесызранской свиты, измеренное согласно датировкам в GTS2012 (Gradstein et al., 2012), составляет 2,1 млн лет (Рис. 1).

Предлагалось также фиксировать диахронность и скольжение неких уровней точками положения в разрезах, измеренными в метрах от точки важного репера: так, уровень исчезновения массовых диноцист *Samlandia tauyi* в районе Гремячинского месторождения калийных солей на юго-западе Волгоградского Правобережья, маркирующий нижнюю границу маастрихта в основании фораминиферовой зоны LC19, диахронен относительно ярусной границы аммонитового обоснования. В разрезе Терсис (Tercis les Bains) на юго-западе Франции, который является лимитотипом GSSP нижнего маастрихта, исчезновение *S. tauyi* происходит в 6 м выше подошвы маастрихта, а в Датском бассейне – в 12 м выше этой же границы (Беньямовский и др., 2013).

Еще раз подчеркнем, что высказанный полтора века назад тезис Головкинского об асинхронности лито- и биостратиграфических границ позволяет применить методический прием, с помощью которого выявляется и описывается диахронность границ, вычисляется «окно скольжения». Дополнительно заметим, что физическая

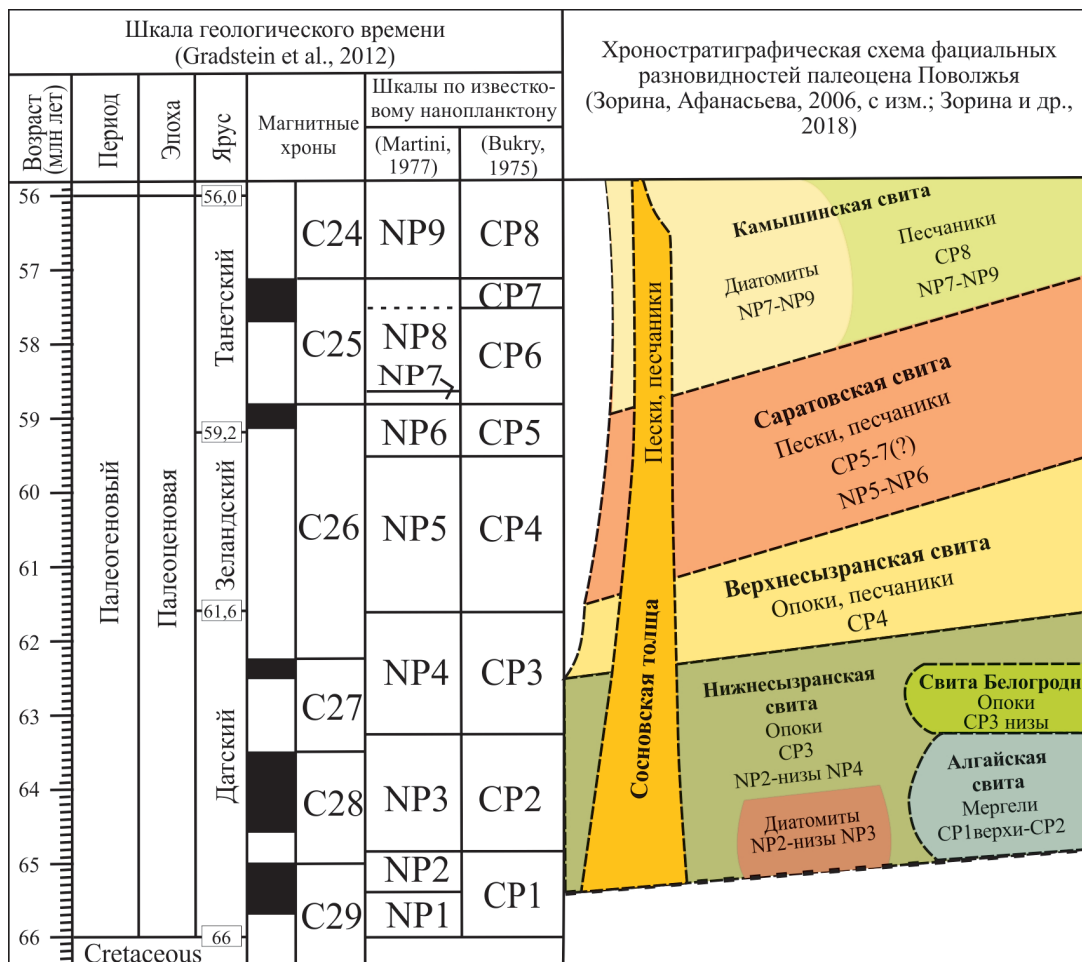


Рис. 1. Диахронность палеогеновых стратонов Поволжья (Зорина, Афанасьева, 2006, с дополнениями и изменениями)

природа высокоскоростных событий и явлений, а также изохронных плоскостей различна, и можно дискутировать о пределах их разрешающей способности, и о том, что является более точным. Это могут быть, например, равноправно применимые: (а) единицы шкал геомагнитной полярности вследствие малой продолжительности ( $< 10^4$  лет) геомагнитных инверсий (Гужиков, 2016); (б) изотопная хронометрия (Зорина, 2015); (в) биозоны по нанопланктону, как в палеогене Поволжья (Зорина, 2006; Зорина, Афанасьева, 2006; Зорина и др., 2018), или по морским диатомеям в кайнозое Тихоокеанского региона (Гладенков, 2013); (г) биособытия по диноцистам, как в маастрихте Нижнего Поволжья (Беньямовский и др., 2013); (д) темпеститы, тайдалиты и черносланцевые эпизоды в широком диапазоне регионов, систем и ярусов (Зорина, 2006, 2013; Дронов, 2013 и др.). Высказывалась рекомендация, данная при обсуждении проблемы границ биогоризонтов о том, что: «несмотря на потенциальную диахронность, [границы биогоризонтов] должны рассматриваться как *презупттивно* изохронные» (Гуляев, Рогов, 2016, с. 57, выделено нами – *авт.*). Мы полагаем, что «презупция изохронности» границ действительно ровно до того момента, как не будет доказана и показана их диахронность любым из стратиграфических методов, в том числе и из упомянутых выше.

### Сейсмо- и циклостратиграфия

Констатация скольжения во времени границ слоев и слоевых ассоциаций предполагает практическую необходимость учета диахронности в двух аспектах: (а) выявление и фиксация наиболее высокоскоростного события с минимальным «окном скольжения» и прослеживание его в наибольшем числе разрезов; (б) выделение момента «перелома» в смене режимов осадконакопления с прослеживанием его по латерали.

Первый аспект плодотворно развивается в рамках сейсмостратиграфии и основывается на выделении и прослеживании поверхностей несогласия. Несомненно, они являются весьма быстрыми, и, в геологическом отношении, почти «мгновенными» событиями, если рассматривать те или иные толщи «сверху вниз», то есть от более молодых отложений к более древним. При этом не следует упускать из виду, как нередко делается, что поверхность среза (несогласия) всегда, или, что называется, «по определению» диахронна, причем «глубина» перерыва может быть от минимальной до сколько угодно большой.

Второй аспект отражен в схемах Головкинского, который в своей работе фактически остановился «в полушаге» от установления принципа цикличности в литологии. Более того, по мнению С.И. Романовского, «геологическая чечевица» Н.А. Головкинского является единственной моделью циклов миграционного типа (Романовский, 1985). Образное название «чечевица» использовано Н.А. Головкинским для характеристики последовательности слоев, имеющих отчетливо уплощенный облик по периферии и схожих с «оболочкой чечевицевого зерна, одевающей ядро» (Головкинский, 1868, с. 119). Отметим, что недостающий «полушаг» сделал Ю.А. Жемчужников, высказав в докладе на Геологическом угольном совещании, состоявшемся в апреле 1944 г., емкий лозунг: «Геологу надо мыслить циклами» (Жемчужников, 1947). При этом

было совершенно точно сформулировано архиважное положение, которое, к сожалению, не часто учитывается при изучении осадочных толщ: «Цикличность без углубленного фациального анализа – лишь формальный, механический прием. Анализ фаций без цикличности – как вышивка без канвы – лишен направляющего стержня. Только сочетание этих двух принципов делает усилия плодотворными и ведет к развитию каждого в отдельности» (Жемчужников, 1947, с.16).

Обозначенные два аспекта иллюстрируют два принципиально различающихся подхода к выделению осадочных последовательностей. Первый подход, принятый и развиваемый в сейсмостратиграфии, основывается, как было сказано, на выделении поверхностей несогласия и коррелятных им срезов в монотонных толщах (Сейсмическая стратиграфия..., 1982; Дополнения к Стратиграфическому кодексу России..., 2000), с выделением поверхностей слоенакопления нескольких порядков. Наименьшие из них – парасиквенсы или циклиты – имеют толщину от нескольких до первых десятков метров и обычно устанавливаются по материалам геофизических исследований скважин (ГИС). Два ведущих типа имеют асимметричное строение и изображаются в виде равнобедренных треугольников, направленных острием вершины в сторону уменьшения размерности частиц (в терригенных толщах). Они интерпретируются как ретроградационный (уменьшение размерности частиц вверх по разрезу) и проградационный (увеличение таковой) типы, соответствующая гемициклом (полуциклом) или нескольким циклам (Ботвинкина, Алексеев, 1991).

Грамотный синтез сейсмических, геологических и литологических данных способен много дать теоретической и практической стратиграфии. Например, тщательные анализ и увязка данных, полученных по материалам сейсмического профилирования отраженными волнами и глубоководным бурением на Северо-Западной плите Тихого океана, позволили глубже понять структуру и особенности формирования осадочного чехла этого региона. Вынесено предупреждение «классическим» стратиграфам, которые, придерживаясь устаревших схем, зачастую слишком прямолинейно воспринимали историю развития окраинных зон океанов в прошлом; в частности, не учитывали диахронность и омоложение толщ по латерали, аккреционные призмы рассматривали как свидетельство субдукции океанических осадков, относительно мелководные отложения многих участков океанов трактовали как глубоководные и т.д. (Патрикеев, 2013).

Второй подход соответствует рисовке «чечевиц» Н.А. Головкинского, в которой, говоря образно, заложены «проэлементы геометрии сиквенсов» (Нургалиева, 2016). Данный подход ориентирован на выделение поворотного этапа (от трансгрессии к регрессии), фиксирующегося поверхностью максимального затопления (mfs – maximum flooding surface). В последние десятилетия он интенсивно используется в зарубежных исследованиях в рамках генетической стратиграфии, ориентирующейся на установление границ с максимально возможной изохронностью (Бижу-Дюваль, 2012; Позаментьер, Аллен, 2014).

Сказанное иллюстрирует рисунок 2, на котором показана корреляция нижнемеловых (среднеаптских) отложений викуловской свиты на месторождении Каменное

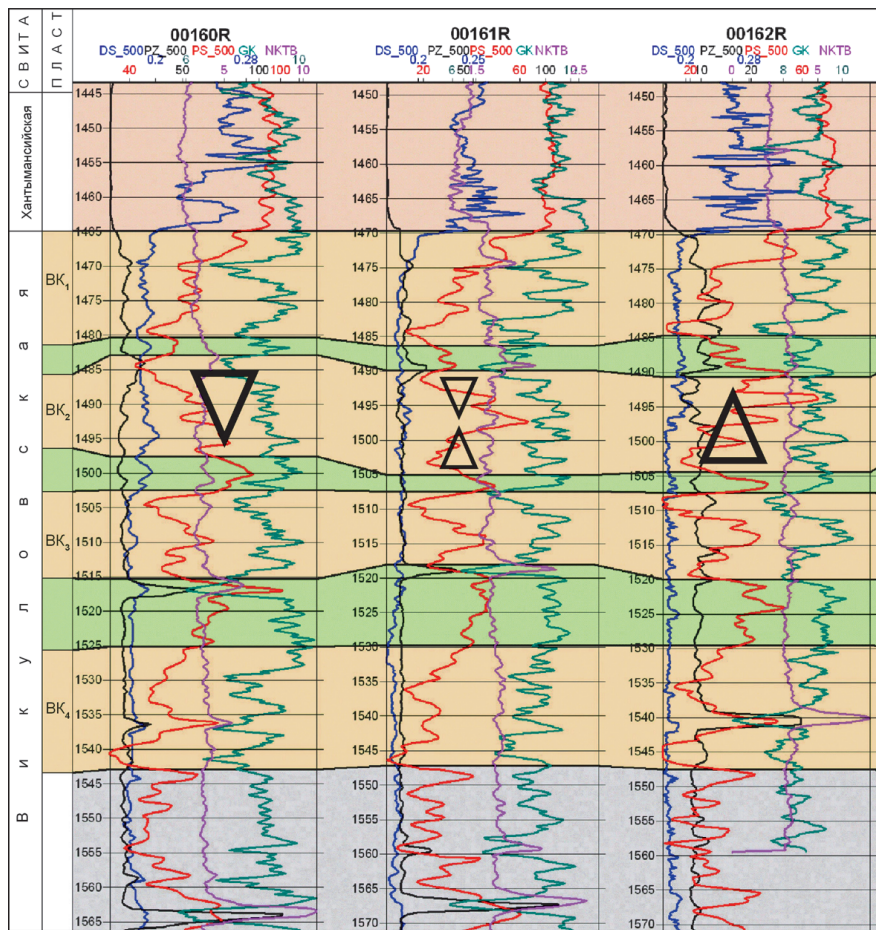


Рис. 2. Фрагмент корреляционного разреза по линии скважин. Каменное месторождение Красноленинской нефтегазоносной области, Западная Сибирь (Состав, строение и условия формирования..., 2011). Для коллектора ВК<sub>2</sub> треугольными символами показана направленность смены гранулометрического состава (вершина треугольника указывает снижение размерности частиц)

Красноленинской нефтегазоносной области в Западной Сибири (Состав, строение и условия формирования..., 2011). Отчетливо трассируется близкое к «плоскопараллельному» строение толщи, устанавливаемое по прослеживанию интервалов относительно тонкозернистых пород (зеленый цвет). Толщины опесчаненных коллекторов ВК<sub>1-4</sub> (бежевый цвет) характеризуются колебаниями толщин в пределах 5-15 %, что может вызываться как изменениями фациального состава, так и различиями в постседиментационном уплотнении. Наиболее интересны сведения по строению коллектора ВК<sub>2</sub>. На сравнительно небольших расстояниях (между скважинами около 2 км) *проградационный* цикллит в скважине 160 меняется на *ретроградационный* в скважине 162, претерпевая отчетливую *инверсию* своего строения в колонке скважины 161, что свидетельствует о большей правомерности выделения циклов по смене трансгрессивной ветви развития фаций на регрессивную.

Заметим попутно, что значительно ранее, чем для генетической стратиграфии, это было заложено в основу фациально-циклического анализа, разработанного Ю.А. Жемчужниковым, Л.Н. Ботвинкиной и др. в 1950-х гг. для терригенных отложений Донецкого угольного бассейна. Базовые положения изложены в ряде изданий (Ботвинкина, Алексеев, 1991; Алексеев, Амон, 2017), где показано значение циклостратиграфического метода для изучения самых разнообразных, в том числе безугольных толщ, включая нефтегазоносные бассейны.

## Перспективы дальнейших исследований

С.И. Романовский, анализируя творческое наследие Н.А. Головкинского, тонко и точно отметил аспект, важный для любых геологических работ, содержащих элементы научно-методической новизны: «Результаты научных исследований, сколь бы значительны они ни были, неизбежно отстают перед новыми достижениями региональной геологии. ... Поэтому именно творцы теоретических идей навсегда входят в историю науки, а их региональные работы, которые имеются в избытке практически у любого геолога, с течением времени полностью утрачивают свое значение» (Романовский, 1979, с. 6). Действительно, для познания геологического строения собственно пермских отложений Камско-Волжского бассейна исследования Н.А. Головкинского ныне представляют всего лишь архивно-исторический интерес. Принципиально иначе обстоит дело с теоретическими построениями, выполненными в его работе. Пласт проблем, поднятых полтора века назад, не только не утратил своей актуальности, но и продолжает сохранять свое методологическое значение, о чем свидетельствуют многие разработки уже XXI века (Берто, 2002; Зорина, 2006, 2015; Кринари, 2010; Лебедев, 2015 и др.). Подобные проблемы будут волновать умы исследователей и в будущем, но, не имея возможности предугадать все вероятные направления, остановимся на двух вероятных векторах развития идей, связанных с именем Н.А. Головкинского.

*Первый вектор* относится к явлению зубчатости

слоевых границ, которое было охарактеризовано так: «... береговые отложения постоянно изменяют площадь своего распространения, то вытягиваясь в открытое море, то отступив к берегу. Это обуславливает неравномерную зубчатость слоя; зубцы эти чрезвычайно острые и вытянутые, являются в виде тонких прослоек, перемежающихся с породой смежного слоя ...» (Головкинский, 1868, с. 126). Здесь же указано, что такая зубчатость обусловлена быстрым смещением обстановок при осадконакоплении в условиях малого наклона поверхности морского дна, не превосходящего нескольких угловых минут.

В развитие этих представлений предложена схема (Алексеев В.П., 2013), отражающая общую структуру взаимоотношений основных параметров, контролирующих морфоструктуру слоевых единиц (Алексеев В.П., 2013). С – скольжение слоев, коллекторов; П – перерывы различной длительности; З – зубчатость границ по латерали

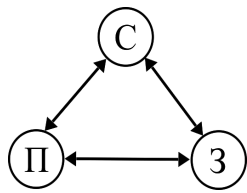


Рис. 3. Взаимоотношения основных параметров, контролирующих морфоструктуру слоевых единиц (Алексеев В.П., 2013). С – скольжение слоев, коллекторов; П – перерывы различной длительности; З – зубчатость границ по латерали

При этом вопросы, связанные с проявлениями перерывов (П) и диахронности слоевых единиц (С) являются объектом самостоятельного изучения со своими историями и достижениями, однако явление зубчатости слоевых границ до сих пор почти не изучалось. Последнее особенно применимо к глубокозалегающим толщам, где прямое прослеживание «тонких прослоек» невозможно, в связи с недостаточной разрешающей способностью дистанционных методов (сейсмопрофилирование), либо с большими расстояниями между скважинами.

Вместе с тем, ситуация меняется буквально «на глазах» в связи с интенсивным внедрением в практику работ горизонтального бурения. Получаемые материалы приносят бесценный материал именно для латерального прослеживания изменений или «перемежаемости» в составе «тонких прослоек». В свою очередь, это неизбежно приводит к рациональной оценке ориентирования эксплуатационных стволов скважин, что дает существенный технологический эффект.

Второй вектор связан со сменой общенаучной парадигмы, происходящей с наступлением нового Миллениума. Переход на нелинейные представления происходит во всех областях естественнонаучного и гуманитарного знания, и особенно ярко проявляется в широком развитии междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований. Одним из путей их рассмотрения является НБИКС (NBICS)-конвергенция – современное направление фундаментальной науки, оценивающее на наноуровне связи самых различных областей знания. Науки о Земле пока находятся «на обочине» этих исследований, но использование таких базовых представлений, типичных для нелинейной науки, как основной факультетный закон, позволяет надеяться на «рывок» в их включении в общий тренд (Алексеев, Амон, 2017). Некоторое представление о больших возможностях, открывающихся перед литологией, дают сведения, помещенные в таблице 1.

В частности, широкий спектр проявления основного факультетного закона – от смещения тонких слойков в доли миллиметров до скольжения неоконских клиноформ Западной Сибири – может навести «мостик» от выявления, рассмотрения и учета «нано-, микро»объектов в геологии, физике, биологии, программировании и т.д. к пониманию закономерностей существования и функционирования сложнопостроенных «мега-, макро»структур. Об этом справедливо сказано К. Майнцером: использование подхода, основанного на теории сложных систем – это «... междисциплинарная методология для объяснения возникновения определенных макроскопических явлений в результате нелинейных взаимодействий микроскопических элементов в сложных системах» (Майнцер, 2009, с. 39).

Кроме того, современные «революционные изменения парадигмы», по выражению Э. Морена, предполагают отказ от широко распространенного линейного механистического детерминизма и рекомендуют принятие и использование метапонятия *сложной причинности*, или эндо-экзопричинности, которая соответствует эндо-экзоорганизации (Морен, 2005, с. 315). Здесь «обычная», внешняя или *экзогенная* причинность должна переходить в постижение нетрадиционной, внутренней или *эндогенной* сущности процесса (Рис. 4).

Дисциплина	Система (пример)	Элементы в системе НБИКС	Динамика	Параметр порядка
Квантовая физика	Лазер	Атомы	Квантовая	Образование квантовой структуры (например, оптические волны)
Биология	Генетические	Гены	Генетическая реакция	Образование генетической структуры
Вычислительная техника	Нейронные сети	Бит	Вычислительные правила, алгоритмы	Образование структуры вычислительных сетей
Психология, медицина	Мозг	Нейрон	Информационная динамика	Распознавание образов
Социология	Общество	Отдельные индивиды; мем	Социальное взаимодействие	Образование социальной структуры
Геология: у К. Майнцера	Лава	Молекулы	Геологическая динамика	Образование структуры (например, сегментация)
Наши представления	Осадочный бассейн	Частица, зерно	Слоенакопление	Основной факультетный закон

Табл. 1. Междисциплинарные приложения теории нелинейных сложных систем (Майнцер, 2009, с. 40-41; с изменениями и дополнениями)

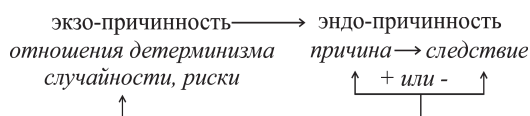


Рис. 4. Схема сложной причинности (по (Морен, 2005))

Изучение сложной причинности, позволяющей познать и предсказать особенности существования и функционирования объектов природы – в литологии от тончайших слоев до осадочных мегабассейнов – разворачивается в бесконечной комбинаторной диалектике. И, благодаря постоянно идущему процессу совершенствования инструментов исследования (горизонтальное и наклонное бурение, изотопия и тонкая геохимическая аналитика, приборы и методы дистанционного зондирования, компьютерные комплексы, нейронные сети, технологии “big data” и др.), такая комбинаторика всегда будет подвижной и внутренне неоднородной.

Э. Морен называет 6 возможных комбинаций реакций систем, сгенерированных сложной причинностью, когда причины взаимодействуют и пересекаются, накладываясь друг на друга случайным образом (Морен, 2005, с. 315-316):

- а) одни и те же причины могут вести к различным и/или расходящимся следствиям;
- б) различные причины могут вызывать одни и те же следствия;
- в) малые причины могут повлечь за собой очень большие следствия;
- г) большие причины могут повлечь за собой очень незначительные следствия;
- д) за некоторыми причинами следуют противоположные следствия, когда причина запускает контрдействие, направленное в противоположном направлении: нагревание → охлаждение, революция → контрреволюция и т.п.;
- е) следствия противоборствующих причин являются неопределенными, т.е. неизвестно, будут ли обратные действия, которые возьмут верх, негативными или позитивными.

Так рождается целый веер форм сложной причинности, и беспрестанно возникают парадоксы причинности, которые не поддаются разрешению в рамках упрощенческого подхода механистической детерминации (Морен, 2005, с. 16). Один из таких парадоксов – диахронность границ слоев ассоциаций, неразрешимый в механике моделей Стенона-Вернера, – был блестяще преодолен Н.А. Головкинским полтора века назад с использованием, возможно, интуитивно, методологии, которую мы ныне называем «сложной причинностью». Но похожих или подобных парадоксов в геологии немало (от противостояния идей «фиксизма» и «мобилизма» до доказательства существования клиноформ в сугубо континентальных толщах или выявления особенностей палеоландшафтов болот, маршей и ваттов в аптских викуловских отложениях Западной Сибири и др.), будут возникать они и в будущем. Заметим, что парадоксы причинности и их успешное разрешение стимулируют развитие теоретической геологической мысли, например, благодаря им были разработаны непротиворечивые тектоника литосферных плит, событийная биостратиграфия, секвентный анализ, циклостратиграфия и др.

Сложная причинность нелинейна, она соотносительна и циклична, и, в целом, составляя одну из основ программы познания «метода природы природы» (La Méthode. La Nature de la Nature) Э. Морена, она частично соответствует *эндофизике* или «физике изнутри» О. Ресслера (Rössler, 1998) и транслирована в основные принципы *эндолитологии* (Алексеев, Амон, 2017). Основному фациальному закону в эндолитологии отведено достойное место, при констатации как большого практического значения, так и существенных прогностических возможностей.

## Заключение

В современно-текущем бурном процессе познания природы и мира бывает полезным сделать остановку, оглянуться в прошлое и произвести сопоставление гаммы давних представлений с сегодняшними реалиями, причем иногда такое сопоставление показывает, что некоторые из первых не утратили своей актуальности. Ровно полтора века назад в 1868 г. состоялось событие, недостаточно оцененное современниками, но определившее один из магистральных путей в развитии учения об осадочных толщах. Этим знаковым явлением явилась защита и опубликование докторской диссертации приват-доцентом Императорского Казанского университета Н.А. Головкинским, в которой неопровержимо установлено закономерное «скольжение» во времени границ визуально однородных (как литологически, так и палеонтологически) слоев осадочных пород. Необычность и революционность этой геологической идеи привела к тому, что фациальный закон (а именно: одинаковый порядок смены фациальных разновидностей пород по горизонтали и вертикали) был «переоткрыт» лишь спустя четверть века И. Вальтером, а в СССР стал широко известен лишь с середины XX в.

Основной фациальный закон или закон Головкинского-Вальтера остается востребованным и высоко значимым в современных геологических исследованиях. В соответствии с ним диахронность (гетерохронность) свойственна многим геологическим событиям и процессам. Конкретика проявляется лишь в точности методов, инструментов и приемов исследований, которые способны, или не способны, зафиксировать скорость проявления событий, так называемое «окно скольжения». Минимумы длительности, принимаемые за «изохроны», свойственны эпизодам палеомагнитохронометрии, изотопной хронометрии, некоторым краткосрочным биособытиям, а также границам комплексов генетически взаимосвязанных пород (циклов, циклитов). В рамках фациально-циклического анализа последние выделяются по смене трансгрессивной ветви смены обстановок осадконакопления на регрессивную, а для генетической стратиграфии – по поверхности максимального затопления. Однако «презумпция изохронности» границ действительно ровно до того момента, как не будет доказана и показана их диахронность любым из стратиграфических методов.

Актуальность основного фациального закона может быть пролонгирована на будущие исследования. С одной стороны, это обусловлено недостаточной изученностью такого распространенного явления как «зубчатость» слоев границ, особенно отчетливо проявляющегося



при прослеживании границ по латерали вдоль береговой линии приемного водоема. Здесь неограниченные перспективы раскрывает 3D моделирование, активно развивающееся при изучении нефтегазоносных объектов. С другой стороны, выявляется удивительная совместимость положений, содержащихся в работе Головкинского, с современными философско-методологическими воззрениями и конструкциями XXI века. Так, они легко вписываются в концепцию НБИКС-конвергенции, иллюстрирующую важность меж- и трансдисциплинарных исследований; в представления об эндо-экзопричинности событий в рамках широкого проявления самоорганизации и пр. Это открывает новые горизонты в теоретическом осмыслении процессов седиментогенеза, а также прогностике. Понимание механизмов сложной причинности в фациально-циклическом анализе позволяет уточнить и упорядочить корреляцию сложнопостроенных осадочных отложений, что представляет непреходяще важную задачу в поиске и разведке нефтегазоносных толщ. Еще большую актуальность эти методологические подходы приобретают при разработке трудноизвлекаемых ресурсов (запасов) углеводородов.

В целом, здесь легко прослеживается поразительный провидческий феномен работы Н.А. Головкинского, присутствующий редким (если не редчайшим) фундаментальным геологическим открытиям.

## Благодарности

Авторы выражают свою признательность и благодарность М.В. Лебедеву, взявшему на себя труд рецензирования рукописи и за высказанные ценные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН “Эволюция органического мира и планетарных процессов” (ЭА). Исследования проведены в рамках государственной программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания №5.2192.2017/4.6 в сфере научной деятельности (СЗ).

## Литература

Алексеев А.С. (2013). Современное состояние Международной стратиграфической шкалы: положительные и отрицательные последствия для Общей стратиграфической шкалы России. *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства*. Москва: ГИН РАН, с. 9-13.

Алексеев В.П. (2013). Нелинейно-литологические эссе. Екатеринбург: УГГУ, 250 с.

Алексеев В.П., Амон Э.О. (2008). Диахронность литостратиграфических рубежей как реализация нелинейного процесса (миграционный тип стратоседиментогенеза). *Био- и литостратиграфические рубежи в истории Земли*. Тюмень: ТюмГНГУ, с. 33-38.

Алексеев В.П., Амон Э.О. (2017). Седиментологические основы эндолитологии. Екатеринбург: УГГУ, 476 с.

Амон Э.О. (2005). Комплексы агглотирующие фораминифер из ханты-мансийской свиты (альб, нижний мел) в Среднем и Южном Зауралье. *Литосфера*, 2, с. 97-134.

Амон Э.О., Алексеев В.П. (2012). О некоторых «болевах» точках современной стратиграфии. *Литология и геология горючих ископаемых*, Вып. VI (22). Екатеринбург: УГГУ, с. 64-77.

Барабошкин Е.Ю., Веймарн А. Б., Копаевич Л. Ф., Найдин Д.П.

(2002). Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки: методические рекомендации. Москва: МГУ, 163 с.

Беньямовский В.Н., Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю. и др. (2013). О нижней границе маастрихта в МСШ и ее положении в ОСШ России. *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства*. Москва: ГИН РАН, с. 298-303.

Берто Г. (2002). Анализ основных принципов стратиграфии на основе экспериментальных данных. *Литология и полезные ископаемые*, 5, с. 509-515.

Бижу-Дюваль Б. (2012). Седиментационная геология: пер. с англ. Москва-Ижевск: ИКИ, 704 с.

Ботвинкина Л.Н., Алексеев В.П. (1991). Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Свердловск: УГГУ, 336 с.

Вассоевич Н.Б. (1949). Слоистость и фашии. *Известия АН СССР, сер. геол.*, 2, с. 129-132.

Верещагин В.Н. (1980). Свита – важнейшее стратиграфическое подразделение. *Стратиграфическая классификация. Материалы к проблеме*. Ленинград: Наука, с. 130-135.

Гладенков А.Ю. (2013). Проблемы и спорные вопросы био-стратиграфии и палеогеографии кайнозоя при интерпретации данных по морским диатомеям. *Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи*. Москва: Геокарт, ГЕОС, с. 40-64.

Головкинский Н.А. (1868). О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. Санкт-Петербург, 143 с.

Гоманьков А.В. (2007). Геологическое время и его измерение. Москва: КМК, 58 с.

Гужиков А.Ю. (2013). Роль палеомагнитных критериев в обосновании границ подразделений Общей стратиграфической шкалы. *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства*. Москва: ГИН РАН, с. 25-28.

Гужиков А.Ю. (2016). Основные задачи актуализации общей магнитостратиграфической шкалы. *Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России*. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, с. 53-55.

Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю. (2006). Оценка диахронности био-стратиграфических границ путем магнитохронологической калибровки зональных шкал нижнего мела Тетического и Борейального поясов. *Доклады Академии Наук*, 409(3), с. 365-368.

Гуляев Д.Б., Рогов М.А. (2016). О введении понятия «биогеографический горизонт» в систему официальной отечественной стратиграфии. *Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России*. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, с. 56-58.

Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. (2000). Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 112 с.

Дронов А.В. (2013). Осадочные секвенции и колебания уровня моря в ордовике Балтоскандии. *Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи*. Москва: Геокарт, ГЕОС, с. 65-92.

Жамойда А.И. (2013). Общая стратиграфическая шкала, принятая в СССР-России. Ее значение, назначение и совершенствование. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 24 с.

Жемчужников Ю.А. (1947). Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы их изучения. *Труды ИГН АН СССР*. Вып. 90. Угольная серия (№ 2), с. 7-18.

Зорина С.О. (2006). О синхронности геологических границ в среднеюрских-палеоценовых отложениях востока Русской плиты. *Георесурсы*, 4(21), с. 31-35.

Зорина С.О. (2015). Геохронология и проблемы Международной стратиграфической шкалы. Казань: КФУ, 40 с.

Зорина С.О., Афанасьева Н.И. (2006). О хроностратиграфическом соотношении пограничных стратонот верхнего мела и палеоцена в Среднем и Нижнем Поволжье. *Известия ВУЗов. Геология и разведка*, 4, с. 3-7.

Зорина С.О., Афанасьева Н.И., Хайргдинова Л.Р. (2018). Событийная модель образования палеоцен-эоценовой песчано-глинисто-силицитовой толщи Русской плиты. *Доклады Академии наук*, 480(1), с. 60-63.

Иностранцев А.А. (1872). Геологические исследования на севере России в 1869 и 1870 гг. Санкт-Петербург, 179 с.

Крибари Г.А. (2010). Литогенез и минералогия нефтеносных осадочных пород. Ч. 1, стадии гипергенеза – диагенеза. Казань: КФУ, 64 с.

Лебедев М.В. (2015). Уточнение формулировки закона Головкинского-Вальтера. *Отечественная геология*, 3, с. 62-69.

Майнцер К. (2009). Системное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез: пер. с англ. Москва: ЛИБРОКОМ, 464 с.

Международный стратиграфический справочник: Сокращенная версия. (2002). Москва: ГЕОС, 38 с.

Мейен С.В. (1981). От общей к теоретической стратиграфии. *Советская геология*, 9, с. 58-69.

Мейен С.В. (1989). Введение в теорию стратиграфии. Москва: Наука, 216 с.

Морен Э. (2005). *Метод. Природа природы*: пер. с франц. Москва: Прогресс-Традиция, 464 с.

Нургуалиева Н.Г. (2016). Основы формационного анализа нефтегазовых толщ. Казань: КФУ, 150 с.

Патрикеев В.Н. (2013). Строение, состав и особенности формирования осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана (синтез сеймостратиграфических и геологических данных). *Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи*. Москва: Геокарт, ГЕОС, с. 203-217.

Перушов Е.М., Гужиков А.Ю., Калякин Е.А., Гужикова А.А. (2013). Субрегиональная стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Среднего и Нижнего Поволжья. *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства*. Москва: ГИН РАН, с. 121-124.

Позамантьер Г.В., Аллен Дж.П. (2014). Секвентная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение: пер. с англ. Москва-Ижевск: ИКИ, 436 с.

Романовский С.И. (1979). Николай Алексеевич Головкинский (1834-1897). Ленинград: Наука, 192 с.

Романовский С.И. (1985). Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. Ленинград: Недра, 263 с.

Сейсмическая стратиграфия - использование при поисках и разведке нефти и газа. (1982). Ред. Ч. Пейтон. Пер. с англ. Москва: Мир, 846 с.

Сократов Г.И. (1949). Из истории русской геологии второй половины XIX в. (к 50-летию со дня смерти Н.А. Головкинского и 80-летию его теории). *Записки Ленинградского горного института*, XV-XVI, с. 41-68.

Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). (2011). Екатеринбург: УГГУ, 325 с.

Сухов С.С., Пегель Т.В., Шабанов Ю.Я. (2013). Роль региональных факторов в разработке стратиграфических схем нового поколения, Общей и Международной шкал (на примере кембрия Сибирской платформы). *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства*. Москва: ГИН РАН, с. 91-97.

Шарапов И.П. (1989). Метагеология. Москва: Наука, 208 с.

Шатский Н.С. (1986). Аманц Грессли. *Портреты геологов*. Москва: Наука, с. 184-198.

Цыганко В.С. (2007). Свита и горизонт – типы границ и их соотношения. *Геология и геофизика*, 48(8), с. 862-870. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.07.002>

Vukry D. (1975). Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, northwestern Pacific Ocean. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, 32, pp. 677-701. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.32.124.1975>

Catuneanu O. (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: Concepts, merits and pitfalls. *J. of African Earth Sciences*, 35(1), pp. 1-43.

[https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00004-0)

Cross T.A.; Homewood P.W. (1997). Aманц Gressly's role in founding modern stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*. 109(12), pp. 1617-1630. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<1617:AGSRIF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<1617:AGSRIF>2.3.CO;2)

Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. (Eds.). (2012). *The Geologic Time Scale 2012*. Vols. 1-2. Oxford-Amsterdam-Waltham: Elsevier, 1176 p.

Martini E. (1977). Neue Daten zum Paläozän und Unter-Eozän im südlichen Nordseebecken – Das Nordwestdeutsche Tertiärbecken. *Beitr. Newslett. Stratigr.*, 6(2), pp. 97-105. <https://doi.org/10.1127/nos/6/1977/97>

North American Stratigraphic Code. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (2005). *AAPG Bull.*, 89(11), pp. 1547-1591. <https://doi.org/10.1306/07050504129>

Ogg J.G., Ogg G.M., Gradstein F.M. (2016). *A Concise Geologic Time Scale 2016*. Amsterdam-Oxford-Cambridge: Elsevier, 234 p.

Rössler O.E. (1998). *Endophysics: The World as Interface*. Singapore: World Scientific, 204 p. <https://doi.org/10.1142/3183>

Walther J. (1893-1894). *Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft*. Bd. 1-3. Jena. 1055 p.

### Сведения о всех авторах

**Светлана Олеговна Зорина** – доктор геол.-мин. наук, доцент, профессор кафедры палеонтологии и стратиграфии, Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанский (Приволжский) федеральный университет Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5

**Валерий Порфирьевич Алексеев** – доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры литологии и геологии горючих ископаемых

Уральский государственный горный университет Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30

**Эдуард Оттович Амон** – доктор геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН Россия, 117647, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

**Ксения Альфитовна Хасанова** – канд. геол.-мин. наук, геолог

Нефтесервисная компания Schlumberger

Россия, 625048, Тюмень, 50 лет Октября, д. 14

*Статья поступила в редакцию 11.09.2018;*

*Принята к публикации 29.10.2018; Опубликована 30.11.2018*

IN ENGLISH

## Age moving of layers: facts and geological consequences (to the 150th anniversary of N.A. Golovkinsky's fundamental work)

S.O. Zorina<sup>1\*</sup>, V.P. Alekseev<sup>2</sup>, E.O. Amon<sup>3</sup>, K.A. Khasanova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>3</sup>Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>Schlumberger, Tyumen, Russian Federation

\*Corresponding author: Svetlana O. Zorina, e-mail: svzorina@yandex.ru

**Abstract.** The fundamental facial law, determining the relationship between facies of sedimentary rocks in the sedimentary basin in lateral and vertical extensions, was formulated by the Russian geologist N.A. Golovkinsky a century and a half ago. Theoretical statements and views proposed by Golovkinsky have not lost their importance and relevance nowadays. In the article considered an important aspect of diachroneity (heterochroneity) of layer associations and their litho- and biostratigraphic boundaries.

The methodological approach of measuring its degree (the window of age moving) is proposed. Golovkinskiy's conceptions are developing fruitfully within the framework of Seismostratigraphy and Sequence Stratigraphy, and their main content remains in demand in the light of new realities of cognitive process (nonlinear science, NBICS convergence, endovision).

**Keywords:** Golovkinsky's law, facies, sedimentation, diachronism, cognitive process

**Recommended citation:** Zorina S.O., Alekseev V.P., Amon E.O., Khasanova K.A. (2018). Age moving of layers: facts and geological consequences (to the 150th anniversary of N.A. Golovkinsky's fundamental work). *Georesursy = Georesources*, 20(4), Part 1, pp. 278-289. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.278-289>

### Acknowledgments

The authors are grateful to M.V. Lebedev, who undertook the work of reviewing the manuscript and for making valuable comments which have been very helpful in improving the manuscript.

This work was supported by the Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "The Evolution of the Organic World and Planetary Processes". The studies were carried out as part of the State Program to improve the competitiveness of the Kazan (Volga Region) Federal University among the world's leading research and education centers, as well as using the funds of subsidies allocated to Kazan Federal University for implementation of the State Task No. 5.2192.2017/4.6 in the field of scientific activity.

### References

- Alekseev A.S. (2013). Current state of International Stratigraphic Chart: positive and negative consequences for the general stratigraphic scale of Russia. *General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection*. Moscow: GIN RAS Publ., pp. 9-13. (In Russ.)
- Alekseev V.P. (2013). Nonlinear-lithological essays. Ekaterinburg: URSMU Publ., 250 p. (In Russ.)
- Alekseev V.P., Amon E.O. (2008). Diachrony of biostratigraphic boundaries as realization of nonlinear process (migration type of stratosedimentogenesis). *Bio- and lithostratigraphic boundaries in the history of Earth*. Tyumen: TyumSOGU, pp. 33-38. (In Russ.)
- Alekseev V.P., Amon E.O. (2017). Sedimentological fundamentals of endolithology. Ekaterinburg: URSMU Publ., 476 p. (In Russ.)
- Amon E.O. (2005). Associations of agglutinated foraminifers from the Khanty-Mansiysk Suite (Albian, Lower Cretaceous) in the Middle and Southern Trans-Urals. *Litosfera = Lithosphere*, 2, pp. 97-134. (In Russ.)
- Amon E.O., Alekseev V.P. (2012). On some "painful" points of modern stratigraphy. *Lithology and Geology of fossil fuels*, vol. VI (22). Ekaterinburg: URSMU, pp. 64-77. (In Russ.)
- Baraboshkin E.Yu., Veimarn A.B., Kopaevich L.F., Naidin D.P. (2002). The study of stratigraphic breaks in the geological survey: guidelines. Moscow: MSU, 163 p.
- Benyamovskiy V.N., Baraboshkin E.Yu., Guzhikov A.Yu. et al. (2013). On the Maastrichtian lower boundary in the International Stratigraphic Scale and its position in the General Stratigraphic Scale of Russia. *General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection*. Moscow: GIN RAS Publ., pp. 298-303. (In Russ.)
- Berthault G. (2002). Analysis of the basic principles of stratigraphy based on experimental data. *Litologiya i poleznye iskopaemye = Lithology and Mineral Resources*, 5, pp. 509-515. (In Russ.)
- Biju-Duval B. (2012). Sedimentary Geology: Eng. transl. Moscow-Izhevsk: IKI Publ., 704 p. (In Russ.)
- Botvinkina L.N., Alekseev V.P. (1991). Cyclicity of sedimentary strata and methods of its study. Sverdlovsk: URSMU Publ., 336 p. (In Russ.)
- Bukry D. (1975). Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, northwestern Pacific Ocean. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, 32, pp. 677-701. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.32.124.1975>
- Catuneanu O. (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: Concepts, merits and pitfalls. *J. of African Earth Sciences*, 35(1), pp. 1-43. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00004-0)
- Composition, structure and conditions of formation of reservoirs of VK group in the Eastern part of Krasnoleninsky oil field (Western Siberia). (2011). Ekaterinburg: URSMU, 325 p. (In Russ.)
- Cross T.A., Homewood P.W. (1997). Amanz Gressly's role in founding modern stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*. 109 (12), pp. 1617-1630. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<1617:AGSR IF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<1617:AGSR IF>2.3.CO;2)
- Dronov A.V. (2013). Depositional sequences and sea level fluctuations in the Ordovician of Baltoscandia. *Stratigraphy of the early XXI century –*

*tendencies and new ideas*. Moscow: Geokart, GEOS Publ., pp. 65-92.

Gladenkov A.Yu. (2013). Problems and debatable points of the Cenozoic biostratigraphy and paleobiogeography in interpretation of data based on marine diatoms. *Stratigraphy of the early XXI century – tendencies and new ideas*. Moscow: Geokart, GEOS Publ., pp. 40-64. (In Russ.)

Golovkinsky N.A. (1868). On Permian formation in central part of Kama-Volga basin. Saint-Petersburg, 143 p. (In Russ.)

Goman'kov A.V. (2007). Geological time and its measurement. Moscow: KMK Publ., 58 p. (In Russ.)

Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. (Eds.). (2012). The Geologic Time Scale 2012. Vols. 1-2. Oxford-Amsterdam-Waltham: Elsevier, 1176 p.

Gulyaev D.B., Rogov M. A. (2016). The introduction of the concept of "biohorizont" into the system of official native stratigraphy. *General stratigraphic scale and methodological problems of development of regional stratigraphic scale of Russia*. Saint-Petersburg: VSEGEI Publ., pp. 56-58. (In Russ.)

Guzhikov A.Yu. (2013). The role of paleomagnetic criteria in justification of unit boundaries in General Stratigraphic Scale of Russia. *General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection*. Moscow: GIN RAS, pp. 25-28. (In Russ.)

Guzhikov A.Yu. (2016). The main tasks of actualization of the General magnetostratigraphic scale. *General stratigraphic scale and methodical problems of development of regional stratigraphic scales of Russia*. Saint-Petersburg: VSEGEI, pp. 53-55. (In Russ.)

Guzhikov A.Yu., Baraboshkin, E.Yu. (2006). Assessment of diachrony of biostratigraphic boundaries via magnetostratigraphic calibration of zonal scales of the lower Cretaceous of Tethian and Boreal belts. *Doklady Akademii Nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*, 409(3), pp. 365-368. (In Russ.)

Inostrantsev A.A. (1872). Geological researches in the North of Russia in 1869 and 1870. Saint-Petersburg, 179 p. (In Russ.)

International Stratigraphic Guide: An abridged version. (2002). Moscow: GEOS, 38 p. (In Russ.)

Krinari G.A. (2010). Lithogenesis and Mineralogy of oil-bearing sedimentary rocks. Part 1, the stages of hypergenesis of diagenesis. Kazan: KFU, 64 p. (In Russ.)

Lebedev M.V. (2015). Clarification of formulation of the law of Golovkinsky-Walther. *Otechestvennaya geologiya = Russian Geology*, 3, pp. 62-69. (In Russ.)

Mainzer K. (2009). Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. A new synthesis. Eng. transl. Moscow: LIBROKOM, 464 p. (In Russ.)

Martini E. (1977). Nene Daten zum Paläozän und Unter-Eozän im südlichen Nordseebecken – Das Nordwestdeutsche Tertiärbecken. *Beitr. Newslett. Stratigr.*, 6(2), pp. 97-105. <https://doi.org/10.1127/nos/6/1977/97>

Meyen S.V. (1981). From general to theoretical stratigraphy. *Sovetskaya geologiya = Soviet Geology*, 9, pp. 58-69. (In Russ.)

Meyen S.V. (1989). Introduction to the theory of stratigraphy. Moscow: Nauka, 216 p. (In Russ.)

Morin E. (2005). La Methode. La Nature de la Nature. French transl. Moscow: Progress-Tradition, 464 p. (In Russ.)

North American Stratigraphic Code. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (2005). *AAPG Bull.*, 89(11), pp. 1547-1591. <https://doi.org/10.1306/07050504129>

Nurgaliev N.G. (2016). Basics of the formational analysis of oil and gas bearing strata. Kazan: KFU, 150 p. (In Russ.)

Ogg J.G., Ogg G.M., Gradstein F.M. (2016). A Concise Geologic Time Scale 2016. Amsterdam-Oxford-Cambridge: Elsevier, 234 p.

Patrikeev V.N. (2013). Structure, composition and peculiarities of the formation of the Northwestern Pacific plate sedimentary cover (a synthesis of seismostratigraphic and geologic data). *Stratigraphy of the early XXI century – tendencies and new ideas*. Moscow: Geokart, GEOS, pp. 203-217. (In Russ.)

Pervushov E.M., Guzhikov A.Yu., Kalyakin E.A., Guzhikova A.A. (2013). Sub-regional stratigraphic scheme of upper Cretaceous deposits of the Middle and Lower Volga region. *General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection*. Moscow: GIN RAS, pp. 25-28. (In Russ.)

Posamentier H.W., Allen G.P. (2014). Siliciclastic Sequence stratigraphy: Eng. transl. Moscow-Izhevsk: IKI Publ., 436 p. (In Russ.)

Romanovsky S.I. (1979). Nikolaj Alekseevich Golovkinsky (1834-1897). Leningrad: Nauka, 192 p. (In Russ.)

Romanovsky S.I. (1985). Dynamic modes of sedimentation. Cyclogenesis. Leningrad: Nedra, 263 p. (In Russ.)

Rössler O.E. (1998). Endophysics: The World as Interface. Singapore: World Scientific, 204 p. <https://doi.org/10.1142/3183>

Seismic stratigraphy. Use in the search and exploration of oil and gas. Editor Ch. Peyton. (1982). Moscow: Mir, 846 p. (In Russ.)

- Sharapov I.P. (1989). *Metageology*. Moscow: Nauka, 208 p. (In Russ.)
- Shatsky N.S. (1986). *Amanz Gressly. Portraits of geologists*. Moscow: Nauka, pp. 184-198. (In Russ.)
- Socratov G.I. (1949). From the history of Russian Geology of the second half nineteenth century (the 50th anniversary of the death of N.A. Golovkinsky and the 80th anniversary of his theory). *Zapiski Leningradskogo gornogo instituta* [Notes of the Leningrad mining Institute], XV-XVI, pp. 41-68. (In Russ.)
- Sukhov S.S., Pegel T.V., Shabanov Y.Y. (2013). The role of regional factors in the development of new generation of stratigraphic schemes, General and International scales (on example of Cambrian of the Siberian platform). *General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection*. Moscow: GIN RAS, pp. 91-97. (In Russ.)
- Supplements to the Stratigraphic code of Russia. (2000). Saint-Petersburg: VSEGEI Publ., 112 p. (In Russ.)
- Tsyganko V.S. (2007). Formation and horizon: types of boundaries and their relationship. *Geologiya i geofizika = Geology and Geophysics*, 48(8), pp. 862-870. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.07.002> (In Russ.)
- Vassoevich N.B. (1949). Layering and facies. *Izvestiya AN SSSR = Proceedings of USSR Acad. Sci., ser. geol.* 2, pp. 129-132. (In Russ.)
- Vereshchagin V.N. (1980). Suite as a most important stratigraphic unit. *Stratigraphic Classification. Materials for the Problem*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 130-135. (In Russ.)
- Walther J. (1893-1894). *Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft*. Bd. 1-3. Jena. 1055 p.
- Zhamoida A.I. (2013). General stratigraphic scale accepted in the USSR-Russia. Its meaning, purpose and improvement. Saint Petersburg: VSEGEI Publ., 24 p. (In Russ.)
- Zhemchuzhnikov Yu.A. (1947). Cyclic structure of coal-bearing strata, periodicity of sedimentation and methods of their study. *Trudy IGN AN SSSR* [Proceedings of Geological Institute of the USSR], vol. 90, coal series (no. 2), pp. 7-18. (In Russ.)
- Zorina S.O. (2006). On synchronism of geological boundaries in the middle Jurassic – Paleocene of the Eastern Russian Plate. *Georesursy = Georesources*, 4(21), pp. 31-35. (In Russ.)
- Zorina S.O. (2015). *Geochronology and problems of the International Stratigraphic Scale*. Kazan: KFU Publ, 40 p. (In Russ.)
- Zorina S. (2018). Development of Golovkinsky's Law (1868): from Lithological "Lentil" to Platform Sequence. Proceedings of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2017: «Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources». *Filodiritto Editore – Proceedings*, pp. 360-363.

Zorina S.O., Afanasieva N.I. (2006). On the chronostratigraphic relation of Upper Cretaceous and Paleocene boundary strata in the Middle and Lower Volga region. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka = Proceedings of Higher Schools. Geology and exploration*, 4, pp. 3-7. (In Russ.)

Zorina S.O., Afanasieva N.I., Khairtdinova L.R. (2018). An Event-Based Depositional Model for the Paleocene–Eocene Sandy–Clayey–Siliceous Sequence of the Russian Platform. *Doklady Earth Sciences*, 480 (1), pp. 547-550. <https://doi.org/10.1134/S1028334X1805001X>

### About the Authors

*Svetlana O. Zorina* – DSc (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Professor of the Department of Paleontology and Stratigraphy, Institute of Geology and Petroleum Technologies

Kazan (Volga Region) Federal University  
4/5, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russian Federation

*Valery P. Alekseev* – DSc (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Lithology and Geology of Combustible Minerals

Ural State Mining University  
30, Kuibyshev st., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation

*Edward O. Amon* – DSc (Geology and Mineralogy), Leading Researcher

Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences  
123, Profsoyuznaya st., Moscow, 117647, Russian Federation

*Ksenia A. Khasanova* – PhD (Geology and Mineralogy), geologist

Schlumberger  
4, 50 let Oktyabrya st., Tyumen, 625048, Russian Federation

*Manuscript received 11 September 2018;*

*Accepted 29 October 2018;*

*Published 30 November 2018*