

УДК 551.73/.79:523.4

Р.Р. Габдуллин¹

СЕКВЕНТНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТАХ²

Впервые установлено соответствие инженерно-геологических элементов и систем секвентных трактов. Секвентно-стратиграфический подход позволяет модернизировать фондовый материал, наметить уровни распространения прочных и малопрочных пород, прогнозируя области развития карстовых полостей и возможного провала бурового инструмента, оптимизировать процесс опробования.

Ключевые слова: корреляция, фанерозой, секвенция, событие, цикличность, бурение.

For the first time a correspondence between engineer-geological elements and sequence system tracts is established. Sequence-stratigraphical approach allow to modernize archive fact material, determine levels of distribution of hard and frail rock to predict areas of distribution of karst vesicles and possible downfall of drilling instrument, optimize the sampling process.

Key words: correlation, Phanerozoic, sequence, event, cyclicity, drilling.

Актуальность. Правильное понимание геологического времени и корреляции позволяет корректно оценивать эволюцию осадочных бассейнов, время, место и масштабы образования полезных ископаемых, в том числе углеводородного сырья — одного из главных энергоносителей современности. В то же время корректность оценки времени, места и масштабов новейших и древних геологических событий (в том числе экзогенных карстообразования, оледенения и др.) необходима для инженерно-геологических исследований, сопутствующих строительству, темп которого в России в последнее десятилетие резко возрос. Результаты многих поисково-разведочных и инженерно-геологических работ не отвечают современным стратиграфическим представлениям, имеют ошибки в отношении геологического расчленения и корреляции разрезов, что в свою очередь приводит к некорректным выводам, например к неточному выделению инженерно-геологических элементов и, следовательно, к неправильному заключению для проектировщиков или к бурению дорогостоящих «пустых» скважин (например, структуры Хопа и Надежда) для нефтяников.

Анализ валидности *инженерно-геологической* документации на примере Москвы показывает, что, к сожалению, в последние годы стало обычной практикой: 1) расчленять разрез по свитам только для каменноугольных отложений, игнорируя требования МСК; 2) искусственно упрощать разрез, включая, например, во флювиогляциальные пески четвертичной системы зеленые глауконитовые морские пески нижнего мела и т.д.; 3) не привлекать ведущих специалистов для описания разрезов скважин и котлованов, что приводит к ошибочному включению трансгрессивных пачек основания и регрессивных пачек кровли не-

веровской (C_3knv) и воскресенской (C_3kvs) подбит в состав перхуровских (C_3kpr), ратмировских (C_3krt) и суворовских (C_3ksv) известняков кревкинского горизонта касимовского яруса, суворовских известняков верхнего отдела каменноугольной системы в состав среднего отдела каменноугольной системы московского яруса мячковского горизонта (C_2m), а также неверовских и воскресенских глин верхнего карбона в состав юрских бат-волжских образований (и наоборот!) и т.д. В итоге материалы изысканий разных организаций не только на соседних, но даже и на одной и той же площадке несопоставимы: мощность одних и тех же стратиграфических единиц в соседних скважинах, пробуренных в разные годы, отличается в несколько раз. Появляются палеодолины и карстовые воронки, которых в действительности нет, и, наоборот, уменьшаются глубина и ширина реального эрозионного вреза, что сказывается на оценке карстово-суффозионной опасности.

Есть и общие проблемы, типичные для буровых работ, например выход керна и его вид, который по рыхлым (разуплотненным) пескам, сильнотрещиноватым и кавернозным известнякам, как правило, невысок, иногда не более 40–50%, глина же, напротив, может существенно вытягиваться (иногда в 2 раза). В зависимости от способа бурения и квалификации буровой бригады облик керна может изменяться: массив крепких, прочных известняков может быть поднят в виде щебня без заполнителя или в муке, что ошибочно интерпретируется как результат карста. При нарушении технологии бурения одна и та же порода или грунт могут быть подняты в разном виде даже из одной скважины (рис. 1, а).

Так, при периодическом подергивании буровой коронки происходит заполнение межкернавого про-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, доцент, канд. геол.-минер. н., e-mail: mosgorsun@rambler.ru

² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-05-00283а) и ФЦП «Научные школы» (грант НШ 841.2008).

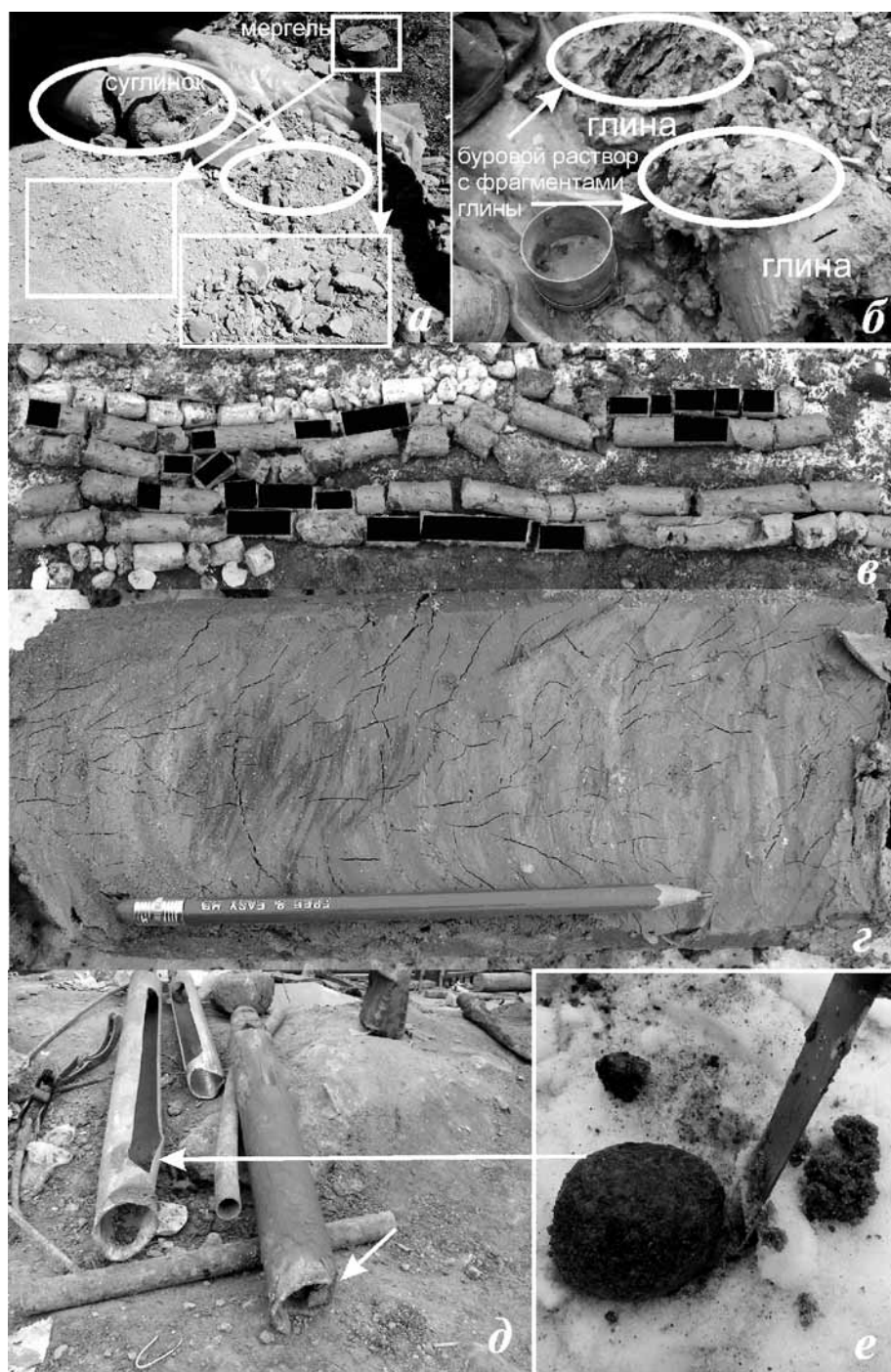


Рис. 1. Особенности внешнего вида грунтов и пород в керне: *а* — суглинок и мергель, поднятые в разном виде из одной скважины; *б* — ложная цикличная толща чередования коренной породы с тонкими глинистыми прослоями смеси шлама и бурового раствора; *в* — диагенетическая цикличность переслаивания доломитизированных глин и доломитов (показаны черным) с (*г*) глинами воскресенской подсвиты касимовского яруса верхнего карбона (С₃к₅, ул. Кульнева, Москва) или тонкой первичной сезонной цикличности флювиогляциальных суглинков донского–московского межледникового (fglQ₁dn–Q₂ms, Чертановская ул., Москва); *д* — разбитые и деформированные грунтоносы (ул. Кульнева, Москва), *е* — крупная галька гранита из гляциальных суглинков московского ледникового (glQ₂ms, ул. Кульнева, Москва)

странства буровым раствором, шламом, что приводит к образованию ложной цикличной толщи чередования коренной породы с тонкими глинистыми прослоями искусственного происхождения, что часто встречается при бурении в каменноугольных породах

в Москве (рис. 1, *б*). Такую ложную цикличность следует отличать от диагенетической цикличности, например, в толще подмосковных каменноугольных воскресенских глин (рис. 1, *в*) или от тонкой первичной сезонной цикличности суглинков конечных морен или водно-ледниковых толщ четвертичного возраста (рис. 1, *г*). При бурении с промывкой слабосцементированные, рыхлые элементы просто выносятся. В случае бурения в сложных условиях (включая скважины глубоководного бурения) перечисленные обстоятельства усугубляются: чем глубже скважина и больше времени уходит на подъем керна, тем больше информации теряется.

Поэтому возникают проблема межскважинной корреляции («прыгающие», ступенчатые границы) и другие трудности при анализе геологического строения изучаемого объекта. Неверное представление о геологическом строении приводит к порче буровой и строительной техники, провоцирует несчастные случаи. Например, при бурении на площадке на ул. Кульнева в Москве происходили аварии на скважинах с порчей грунтоносов (рис. 1, *д*), вызванные более высоким, чем ожидалось, уровнем залегания сухих флювиогляциальных щебнисто-галечниковых грунтов московского межледникового без заполнителя или гляциальных суглинков московского ледникового с крупной галькой (рис. 1, *е*).

Таким образом, необходима методика, позволяющая найти четкие корреляционные уровни и восстановить утраченные при бурении фрагменты разреза.

Цель и задачи исследований.

Методологическая работа нацелена на модернизацию расчленения разрезов и их корреляции путем привлечения ряда стратиграфических методов — событийного, секвентного и циклического. Практическое

приложение — оптимизация процесса производственного бурения и анализа его результатов на примере Подмосквья. Основы секвентной стратиграфии изложены в [Габдуллин и др., 2008] и ряде других работ.

В наши задачи входила разработка и апробация методики, позволяющей выявлять в разрезе скважин и обнажений циклиты, начиная от элементарных пластовых и заканчивая циклитами высоких порядков (эвстатические, секвентные и др.), а также событийные уровни для их последующей корреляции, нацеленной в перспективе на *установление геологического времени и разрешение проблемы корреляции морских и континентальных отложений*. Предлагаемый в статье подход может помочь при уточнении и детализации, т.е. модернизации имеющегося материала.

Секвентно-стратиграфический подход при инженерно-геологических исследованиях. Путем анализа каротажных диаграмм и литологического описания разрезов возможно выявить корреляционные уровни, которые позволят сопоставить «старые» и «новые» скважины, выделить орбитально-климатические циклы Миланковича, являющиеся реперами планетарного масштаба и контролируемые системы секвентных трактов (трансгрессии и регрессии, вызванные вариациями климата).

Например, в Подмосковье хорошо видна макроскопически и выявляется при статическом зондировании тонкая сезонная цикличность ледниковых и водно-ледниковых отложений (миллиметры, иногда дециметры), а также разнопорядковая цикличность в песках мелового возраста, юрских глинах. При сопоставлении графиков кривых лобового и бокового сопротивления по профилям на площади, как правило, выявляются общие корреляционные уровни, практически совпадающие с границами инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и систем секвентных трактов.

Комплекс геофизических работ, сопутствующий бурению, помогает устранить проблемы с расчленением разреза и его межскважинной корреляцией. Разная степень трещиноватости и кавернозности подмосковных каменноугольных известняков четко увязывается с системами трактов. Наиболее мелководные элементы в основном имеют органогенно-обломочную структуру, их пористость выше, чем у более глубоководных разновидностей. В процессе карстования биокласты быстрее выщелачиваются, что повышает их пористость, проницаемость и уменьшает прочность мелководных элементов. Это приводит к заметному контрасту физических свойств, выявляемых сейсмоакустическими методами.

На рис. 2 приведен профиль в районе Берсневской набережной Москвы. На нем видна четкая связь между инженерно-геологическими элементами (ИГЭ) и системами трактов (ТСТ — трансгрессивный, ТВС — высокого стояния). Например, наиболее мелководные образования начальной стадии развивающейся трансгрессии (ТСТ) представлены известняками кавернозными и в большой степени трещиноватыми (ИГЭ-11, -16, -21а). В нижней части неверховской и воскресенской подсвет присутствуют пачки переслаивания трещиноватых и кавернозных

известняков и доломитов, а также доломитизированных глин и глин (ИГЭ-14, -19). Осадочные отложения высокого уровня стояния моря (ТВС-1), напротив, представлены глинами (ИГЭ-10, -13, -18) либо относительно менее кавернозными известняками (ИГЭ-15, -20б). При стабильном положении уровня моря бассейн начинает переполняться осадками и возникает мелеющая вверх последовательность второй половины тракта высокого стояния (ТВС-2), эродированная здесь только в известняках ратмировской подсветы. ТВС-2 представлен трещиноватыми, пористыми в разной степени кавернозными известняками (ИГЭ-9, -20а) или толщами, аналогичными по составу нижней части неверховской и воскресенской подсвет, но повторяющимися зеркально-симметрично (ИГЭ-12, -17). Массив мячковских известняков здесь детально не изучался, поэтому образования песковской подсветы на тракты не разделены. В данном интервале разреза каменноугольных отложений выделено 6 секвенций.

Обширные трансгрессии фанерозоя, вызванные долгопериодными циклами эксцентриситета орбиты Земли, приводили к образованию огромных эпейрических (эпиконтинентальных) морей, в полных разрезах разных частей которых устанавливается одна и та же последовательность фашиально-изменчивых осадков. Таким образом, пачки и практически отвечающие им ИГЭ соответствуют системам трактов и являются хорошими местными и региональными реперами. Внутри них выделяются реперы еще более низшего порядка.

Анализ геологической истории района с позиции эвстатических вариаций (т.е. секвентный) облегчает работу геолога и позволяет еще до начала буровых и геофизических работ: а) наметить уровни залегания прочных и малопрочных пород, прогнозируя области развития карстовых полостей и возможного провала бурового инструмента; б) выявить число и свойства инженерно-геологических элементов; в) оптимизировать и упростить опробование.

Для детальной корреляции в пределах площадки, района или части геологической структуры, как правило, достаточно двух из трех методов анализа (событийный, секвентный и циклический).

Заключение. Астрономо-климатическая природа цикличности и методы ее исследования помогают пролить свет на реконструкцию детальной палеогеографической обстановки осадконакопления, прогнозировать физические свойства пород для нефтяной и инженерной геологии.

Объем инженерно-геологических работ строго регламентирован нормативными документами. Тем не менее секвентный анализ позволяет правильно оценить геометрию пластов и интерполировать межскважинное пространство, прогнозировать трудные для бурения участки или фрагменты разреза, число и свойства инженерно-геологических элементов, оптимизировать процесс опробования. Это позволит

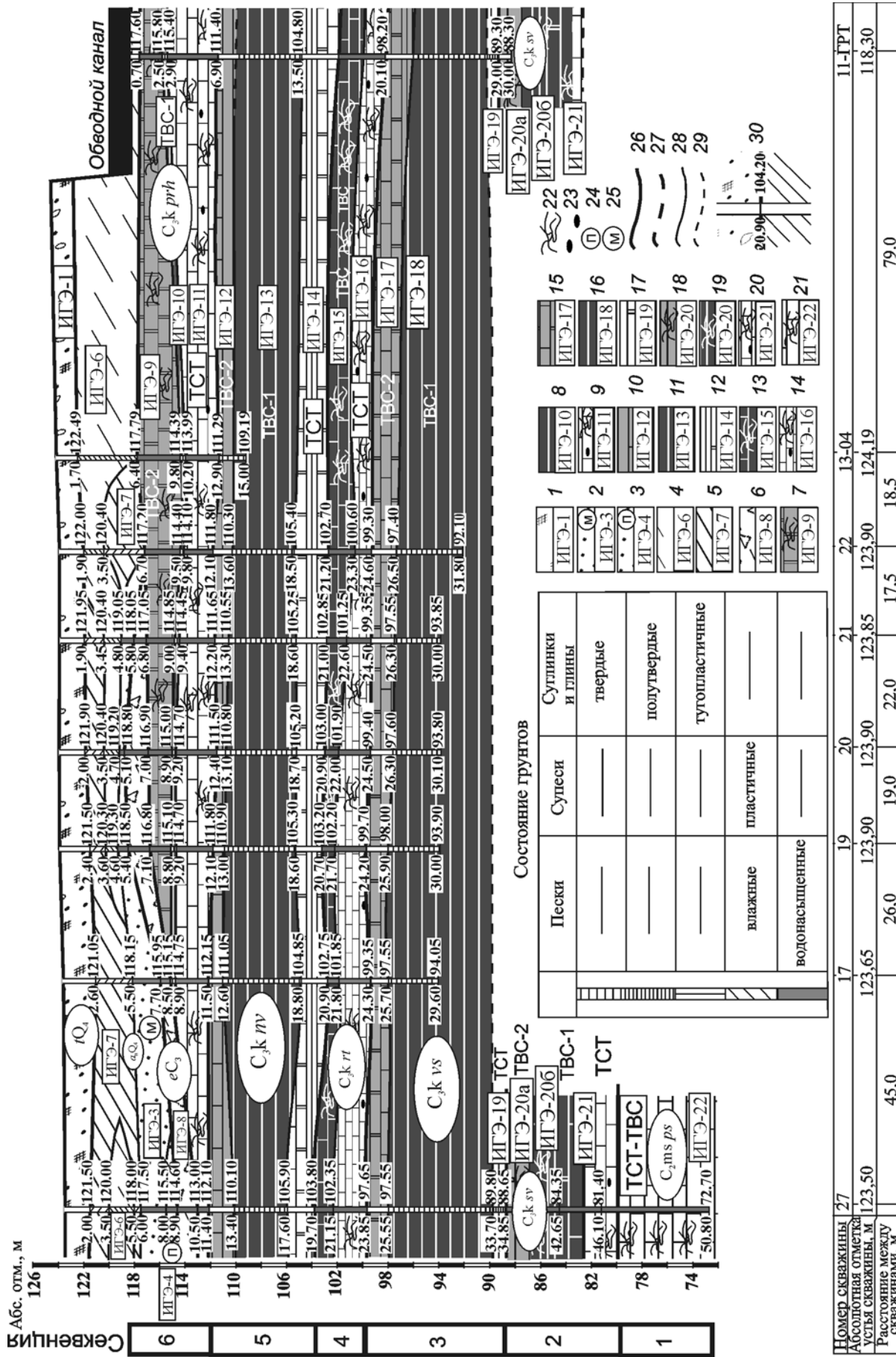


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез в районе Берсневской набережной (Москва): 1 — техногенный грунт; 2 — песок пылеватый; 3 — песок пылеватый; 4 — супеси; 5 — суглинки; 6 — глина шебнистая; 7 — доломиты и известняки; 8 — глины; 9 — известняки кавернозные и трещиноватые; 10 — известняки, глины, доломиты; 11 — глины; 12 — глины, доломиты, известняк; 13 — известняк трещиноватый; 14 — известняк трещиноватый и кавернозный; 15 — известняк, глины, доломиты; 16 — глины; 17 — глины, доломиты; 18 — глины и трещиноватые известняки; 19 — глины и трещиноватые известняки; 20 — известняк трещиноватый и кавернозный; 21 — известняк трещиноватый; 22 — трещиноватость; 23 — кавернозность; 24 — мелкие пески; 25 — пылеватые пески; 26 — стратиграфические границы достоверные; 27 — то же, предполагаемые; 28 — литологические границы и границы ИГЭ; 29 — то же, предполагаемые; 30 — глубина (слева) и абсолютная отметка подошвы слоя, м. Сокращения: С_{2т} ps — песковая толща, ИГЭ — инженерно-геологические элементы, остальные — см. текст

сократить число аварийных скважин, время и расходы на проведение работ, сделать их более прогнозируемыми. Особенно актуально это на площадях со слабой геологической изученностью и при бурении в сложных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Габдуллин Р.Р., Иванов А.В., Кошелев А.В., Копаевич Л.Ф. Тренинг по секвентной стратиграфии: Учебное пособие по повышению квалификации специалистов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010.

Автор выражает признательность Е.А. Вознесенскому, А.М. Никишину, А.С. Алексееву, Л.Ф. Копаевич, Е.Н. Самарину (МГУ), Ю.О. Гаврилову (ГИН РАН) за консультации и ценные замечания.

Габдуллин Р.Р., Копаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия. М.: Макс-Пресс, 2008. 113 с.

Поступила в редакцию
16.09.2009