

УДК 624.131: 551.73(470)

А.С. Алексеев<sup>1</sup>, Г.А. Голодковская<sup>2</sup>, Л.Л. Панасьян<sup>3</sup>

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

Предлагается новый подход к изучению карбонатных пород с учетом стратиграфических секвенций, циклов и литотипов. Рассмотрены основные черты геологического строения модельного участка Москва-Сити в соответствии с принятой стратиграфической схемой. Показано, что в рассматриваемом разрезе карбонатных пород существует цикличность. Проанализированы физико-механические свойства образцов известняков и доломитов с учетом классификации Р. Данхема (1962) для неверовского и шуровского циклитов. Доказано, что свойства связаны с литотипом породы, в котором отражена внутренняя структурная морфология. При этом отсутствует закономерное изменение показателей свойств по глубине, которое, скорее, связано с положением проб внутри секвенции. Показана необходимость составления атласа-кадастра пород каменноугольного возраста для территории Москвы и предложены необходимые базовые пункты для его реализации.

*Ключевые слова:* карбонатные породы, литотипы, секвенции, физико-механические свойства, каменноугольная система, Москва.

The new approach for study carbonate rocks with consideration for stratigraphic sequences, cycles and lithotypes is proposed. The main characters of the geological structure of model area The Moscow-City are discussed in light of the new stratigraphic scale. The cyclicity exists in the studied succession. The physical-mechanical properties of limestones and dolomites from Neverovo and Stshurovo sequences were analyzed in light of classification proposed by Dunham (1962). These properties are related to rock lithotype which have own internal structural morphology. The regular trend of properties with depth is not detected, more likely the properties are connecting with their position in sequence. There is necessity to produce atlas-inventory of Carboniferous rocks for the Moscow territory. The important steps in realization of this project are proposed.

*Key words:* carbonate rocks, lithotypes, sequences, physical-mechanical properties, Carboniferous, Moscow

**Введение.** Карбонатные породы — одно из самых распространенных и генетически сложных осадочных образований в земной коре, они часто представляют собой объект инженерно-геологических исследований. Широкий диапазон изменения свойств карбонатов (например, пористость изменяется от нескольких процентов до нескольких десятков процентов, прочность — от нескольких мегапаскалей до сотен мегапаскалей) обусловлен генетическими особенностями осадков и образовавшихся из них пород, что определяет актуальность изучения связи условий формирования свойств пород с их геологической историей.

Рост урбанизации Московского региона, индустриализация его хозяйства породили множество проблем, связанных с изучением геологической среды, прогнозированием и контролем изменений ее свойств, ее охраной и восстановлением нарушенных техногенезом свойств [Геологические проблемы..., 1991]. Известно, что одна из главных проблем на территории Москвы — комплексная оценка распро-

странения, строения и физико-механических свойств карбонатных пород каменноугольного возраста, представляющих основные типы грунтов наряду с четвертичными и юрскими песчано-глинистыми. Известняки часто сильно- и неравномернотрещиноватые, закарстованные, местами разрушены до состояния доломитовой муки. Провалы на территории Москвы, произошедшие в 70–90-х гг. прошлого столетия, потребовали тщательного изучения вовлеченной в зону активного техногенного воздействия толщи каменноугольных карбонатных пород мощностью до 50–70 м.

При инженерно-геологических изысканиях, ведущихся на территории Москвы, используются устаревшие стратиграфические схемы, в том числе для каменноугольной системы, что приводит к неправильной корреляции разрезов скважин. Новая детальная стратиграфическая схема каменноугольных отложений для центра и юга Русской плиты [Алексеев и др., 2009], утвержденная Региональной стратиграфической комиссией в марте 2010 г. и Комиссией по каменно-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра палеонтологии, профессор, докт. геол.-минер. н., e-mail: Ivanitskaya.lida@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, профессор, докт. геол.-минер. н.

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н., e-mail: liylipan@gmail.com

угольной системе Межведомственного стратиграфического комитета России (апрель 2010 г.), может служить надежной геологической основой при изысканиях на территории Москвы и Московской области.

Отсутствие надежной привязки к условиям залегания и данных о физико-механических свойствах в соответствии с химическими, минеральными, структурными, текстурными и другими особенностями карбонатных пород того или иного горизонта (свиты) приводит к путанице в названии породы и неадекватному выбору видов анализа, несвоевременному обнаружению следов как древних, так и современных вторичных процессов. Это усложняет или делает невозможными надежные прогнозные оценки поведения оснований сооружений.

Карбонатные породы каменноугольного возраста в Московском регионе формировались в условиях циклически повторяющихся масштабных колебаний уровня морского бассейна, что привело к ритмичному строению разреза с многократным повторением определенной последовательности основных литотипов, каждый из которых имеет характерные физико-механические особенности. Поэтому при инженерно-геологических работах необходимо учитывать положение образцов в циклической последовательности, особенности их текстур и структур, определявшихся первичными условиями седиментации, древними вторичными преобразованиями при понижениях уровня моря и формировании палеопочв. Покажем, как эту информацию необходимо использовать при проведении инженерно-геологических изысканий на территории Москвы. Актуальность такой постановки задачи связана с тем, что во многих организациях буровые работы, отбор и описание керн ведутся практически только на основе внешнего вида породы, без их четкой стратиграфической привязки.

Согласно П.Б. Кабанову [Кабанов, 2009], в московском ярусе карбона на Восточно-Европейской платформе происходила циклическая смена лито- и биофацаций (рис. 1), связанная с колебаниями уровня моря.

В целом насчитывается свыше двух десятков классификаций карбонатных пород, в основу которых положены химические и минералого-петрографические подходы, генетические, структурные, литологические, биостратиграфические признаки, особенности энергетических и гидродинамических режимов накопления осадков, а также технические характеристики пород.

В настоящее время для карбонатных пород наиболее широко используется текстурная классификация (табл. 1) Р. Данхэма [Dunham, 1962]. Она удобна, так как отражает морфологию, синтез генетических и важных структурных признаков: зерна скелетов организмов (биофрагменты), цемент, взаимоотношения зерен и цемента, что позволяет восстанавливать среду седиментации.

Таблица 1

## Классификация карбонатных пород Р. Данхэма

Первично-осадочная структура распознаваема	Первичные компоненты не скреплены во время отложения	Порода содержит ил (частицы пелитовой или мелкоалевритовой размерности)	Опора породы — ил	Зерен <10%	Мадстоун
				Зерен >10%	Вакстоун
				Зерна опираются одно на другое	Пакстоун
		Порода не содержит ил и состоит из зерен, опирающихся одно на другое			Грейнстоун
	Первичные компоненты скреплены во время отложения, что доказываются срастанием скелетных остатков, слоистостью, не подчиняющейся силе тяжести; присутствием полостей, которые выстланы осадком и перекрыты органическими (или предположительно органическими) остатками и превышают размеры мажнугулярных пор				Баундстоун
Первичная структура не распознается. Кристаллический карбонат (разделяется в соответствии с классификацией метаморфизованных пород и структур)					

## Геологическое строение участка Москва-Сити.

В качестве модельного объекта при рассмотрении влияния цикличности и ритмов на свойства пород выбран участок Москва-Сити. Здесь на небольшой глубине котлованами и многочисленными скважинами глубиной до 100 м вскрыты преимущественно карбонатные породы московского и касимовского ярусов (табл. 2). Сложенная ими толща залегает слегка наклонно (погружаясь на юг) и образована мелководными морскими осадками, которые накопились в субтропическом эпиконтинентальном бассейне в

Таблица 2

## Стратиграфическая схема среднекаменноугольных отложений, распространенных на территории Москва-Сити

Общая шкала	Московская синеклиза, южное крыло					
	Ярус	горизонт	серия	надсвита	свита	индекс
Касимовский	дорогомиловский	дорогомиловская			перхуровская	prh
	хамовнический	хамовническая			неверовская	nv
	кревьякинский	кревьякинская			ратмировская	rt
Московский	мячковский	мячковская			воскресенская	vs
			новлинская		суворовская	sv
	подольский	подольская			песковская	ps
					домодедовская	dm
					коробчеевская	kr
	каширский	верхний	каширская			шуровская
					улитинская	ul
					васькинская	vs
					смедвинская	sm

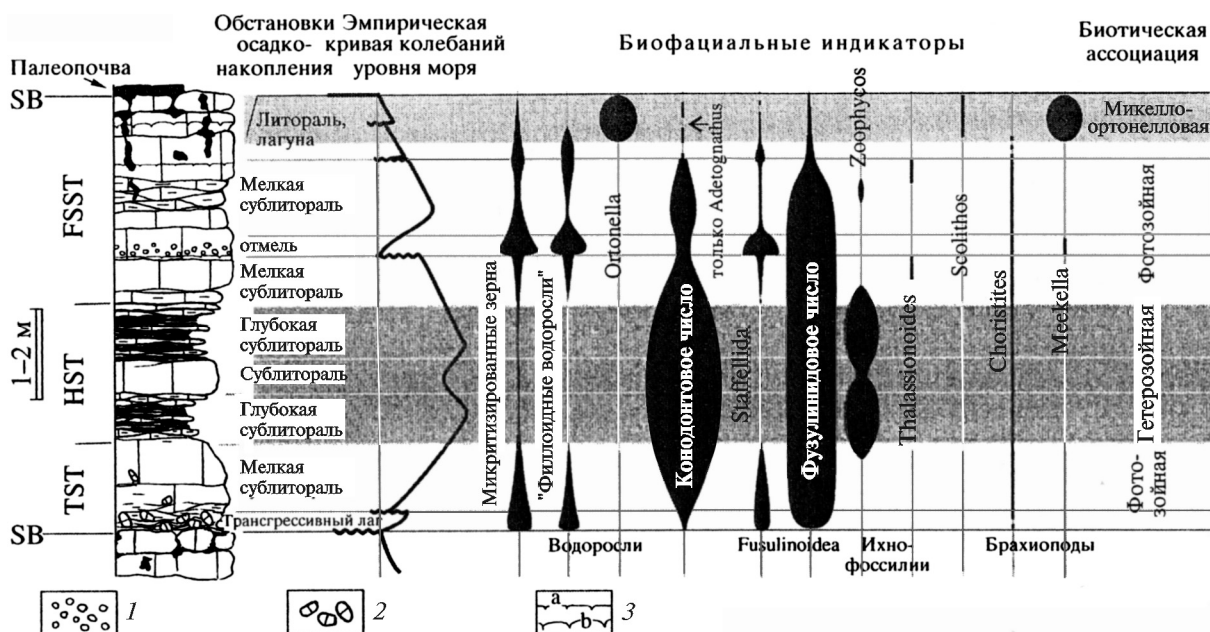


Рис. 1. Строение обобщенной поднемошковой циклотемы южного крыла Московской синеклизы и биофациальные индикаторы [Kabanov, Vaganova, 2007, с изменениями]: 1 — грейнстоуны пелоидно-биокластовые, окатанно-зернистые; 2 — известняковые гальки; 3 — поверхности береговой эрозии: а — планарные, б — бугристые. Секвенс-стратиграфические обозначения: SB — границы секвенций, TST — трансгрессивный тракт, HST — тракт высокого стояния уровня моря, FSST — тракт абсолютного падения уровня моря

Таблица 3

Физико-механические свойства карбонатных пород на территории Москва-Сити

Горизонт, свита	Порода	Плотность, ρ, г/см <sup>3</sup>	Плотность твердой фазы, ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	Пористость, n, %	Прочность на сжатие, R <sub>сж</sub> , МПа	
					сухие	водонасыщенные
Дорогомиловский горизонт, пресненская и мясницкая свиты	Известняк: органогенно-детритовый, р/з;	1,80–2,59 2,21	2,68–2,90 2,77	5–33 21	6–84 27	4–51 23
	органогенно-детритовый глинистый, т/з, м/з;	1,99–2,30 2,18	2,70–2,86 2,79	18–25 22	8–54 24	8–30 18
	доломитизированный, м/з и с/з	1,90–2,44 2,22	2,70–2,80 2,76	14–24 19	31–61 45	24–60 30
	Доломит: мк/з, т/з	1,87–2,59 2,25	2,72–2,79 2,72	8–27 18	10–58 41	8–43 23
Дорогомиловский горизонт, перхуровская свита	Известняк: органогенный, р/з;	1,70–2,71 2,15	2,68–2,89 2,76	8–31 17	4–64 25	5–45 19
	органогенно-детритовый глинистый; доломитизированный скрыто- и м/з	2,03–2,37 2,16	2,68–2,80 2,74	15–26 22	14–27 20	6–12 11
		2,04–2,45 2,26	2,71–2,83 2,81	13–25 19	30–100 56	16–41 31
	Доломит: мк/з и т/з	2,12–2,46 2,22	2,73–2,86 2,81	8–25 20	18–48 33	4–22 11
Хамовнический горизонт, неверовская свита	Известняк: органогенно-детритовый, к/з; глинистый, т/з	2,71–2,50 2,11	2,39–2,84 2,71	8–34 21	5–54 21	4–36 18
		1,98–2,43 2,13	2,59–2,74 2,71	15–22 18	8–22 16	5–18 10
	Доломит: мк/з и т/з	1,80–2,47 2,21	2,72–2,87 2,78	14–31 21	4–69 36	4–42 19
Подольский и мячковский горизонты	Известняк: мк/з, т/з; м/з; с/з, кавернозный	1,93–2,53 2,160	2,62–2,77 2,72	10–30 21	16–87 39	9–46 21
		2,00–2,53 2,20	2,72–2,85 2,78	18–30 20	9–64 33	6–38 19
		1,75–2,06 1,94	2,70–2,83 2,74	20–40 27	9–28 16	7–22 13
	Доломит: т/з	2,06–2,51 2,23	2,74–2,88 2,81	10–20 16	20–70 40	11–44 22

Примечание. Над чертой — пределы изменения, под чертой — среднее значение; зернистость: мк/з, т/з, м/з, с/з, к/з, р/з — микро-, тонко-, мелко-, средне-, крупно-, разномерный соответственно.

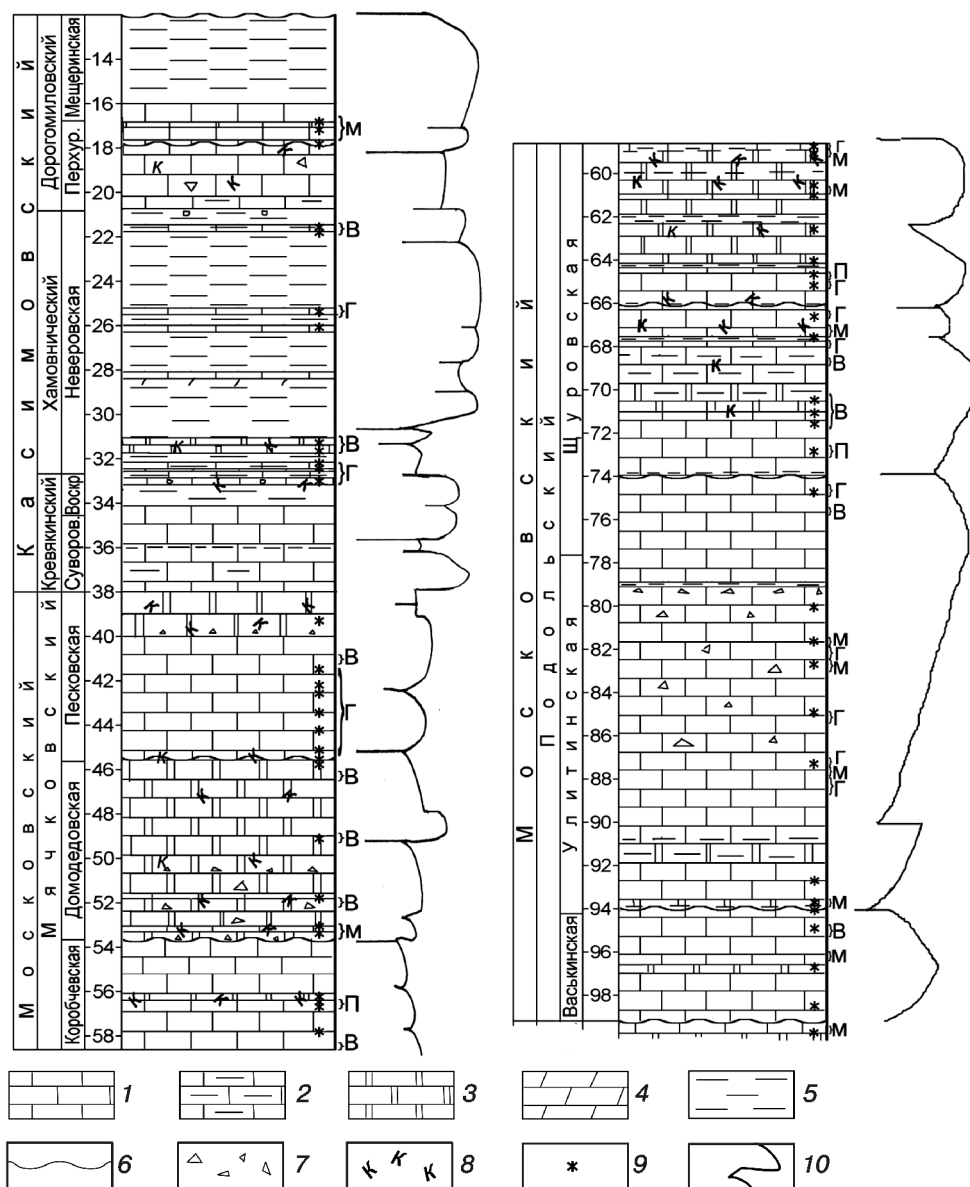


Рис. 2. Цикличность геологического строения московского и касимовского ярусов на территории Москва-Сити по данным глубоких скважин: 1 — известняк; 2 — известняк глинистый; 3 — доломит; 4 — мергель; 5 — глина; 6 — размыв; 7 — разрушенные породы; 8 — повышенная кавернозность; 9 — места отбора проб; 10 — кривая относительных колебаний уровня моря, сдвиг вправо — углубление; М — макстоун, В — вакстоун, П — пакстоун, Г — грейнстоун

ледниковую эпоху позднего палеозоя. Самые древние вскрытые слои относятся к основанию подольского горизонта московского яруса, а самые молодые — к мясницкой свите дорогомиловского горизонта касимовского яруса.

Таблица 4

Число (%) определений свойств карбонатных пород для опробованных циклов

Положение в циклах	Известняки*					Доломиты	
	1	2	3	4	5	6	7
верх	12	42	—	20	27	17	36
средняя часть	50	8	25	20	9	33	9
низ	38	50	75	60	64	35	55

\* Известняки: 1 — мадстоун, 2 — вакстоун, 3 — пакстоун, 4 — грейнстоун, 5 — грейнстоун пелоидный; доломиты: 6 — псаммитовый, 7 — пелитоморфный.

В рассматриваемом разрезе карбонатных пород выявлена цикличность (рис. 2), а в пределах каждого цикла наблюдается чередование известняков, доломитов и доломитизированных известняков.

Первоначально отложившиеся органогенные осадки прошли процесс литификации на стадии диагенеза и, возможно, начального катагенеза в мягких термодинамических условиях. В чередовании среднекаменноугольных известняков и доломитов намечается определенная цикличность [Кривошеева и др., 2002], которая подчеркнута повышенной глинистостью карбонатов либо присутствием прослоев глин разной мощности, часто с карбонатной галькой и щебнем в основании. В разрезе выделяется несколько пачек пород, верхние части которых чаще сложены доломитами, средние — известняками, нижние — сильнодоломитизированными и чистыми

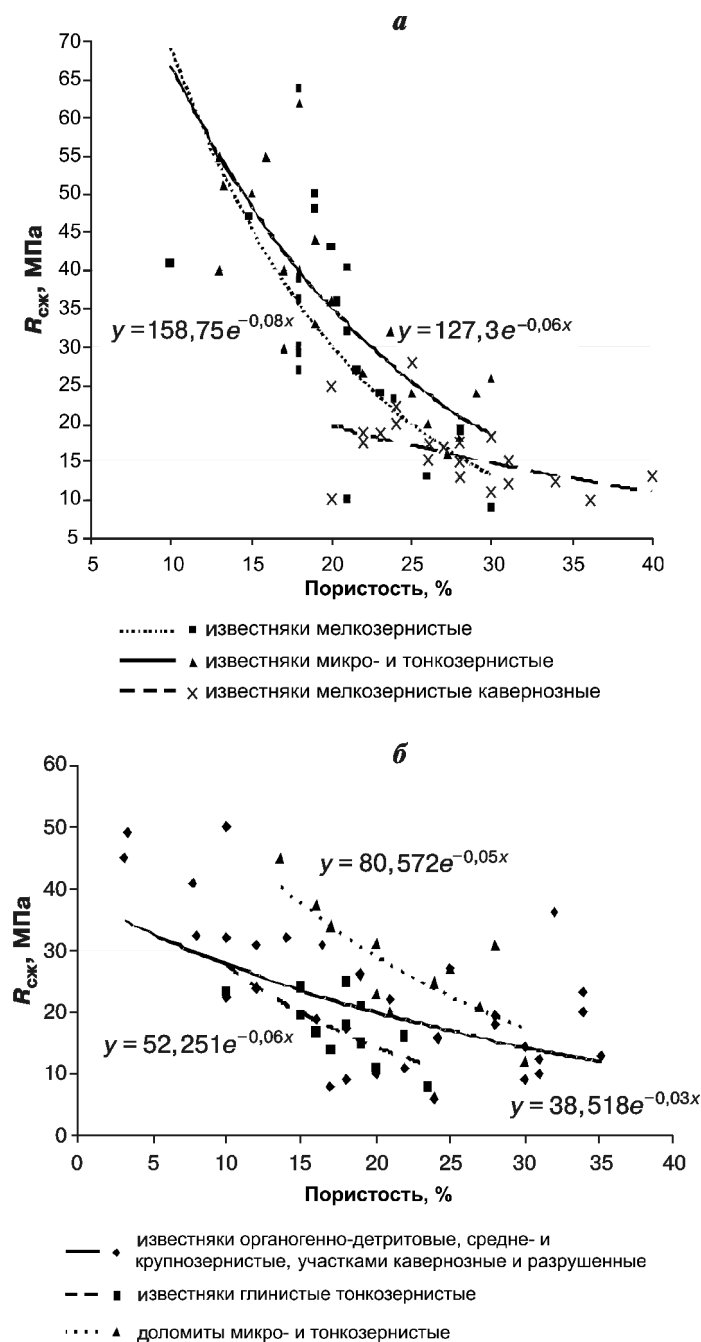


Рис. 3. Зависимость прочности от пористости карбонатных пород подольского и мячковского (а) и кривякинского (б) горизонтов

известняками. Доломиты и доломитизированные известняки — породы диагенетического замещения первоначально органогенного известкового осадка.

На первом этапе исследований точное положение проб внутри циклов не фиксировалось, однако был собран обширный фактический материал. Общий анализ свойств карбонатных пород рассматриваемых отложений для территории Москва-Сити, выполненных различными организациями (АО «Институт Гидропроект», Геоцентр «Москва», ФГУП «Фундаментпроект», НПО «НОЭКС», ГУП «НИИОСП имени Н.М. Герсевича», ВНИПИСТРОЙСЫРЬЕ, МГУ имени М.В. Ломоносова), проведен по 375 образцам

Таблица 5

Результаты измерения коэффициента проницаемости ( $K_{пр}$ ) пород по воздуху

Название породы	$K_{пр}$ , мД
Известняк кавернозный, пакстоун	до 450
Известняк мелко- и тонкозернистый, грейнстоун	0,6–3,8
Доломит пелитоморфный, слабоглинистый известковистый (по С.Г. Вишнякову), однородный	до 3,6
Доломит известковистый, пористый	30–50
Доломит известковистый, сильнокавернозный, с соединяющимися полостями	100–1070
Доломит известковистый органогенный, с ориентированной пористостью, псаммитовый	4–37

Таблица 6

Минеральный состав (по данным рентгеноструктурного и термогравиметрического анализов), %

Состав	Известняк				Доломит псаммитовый, пелитоморфный
	мадстоун	вакстоун	пакстоун	грейнстоун	
Кальцит	95–100	96	42–	41–100	12,3–45
Доломит	34–57		15–56,3	до 53,2	83,7–100
Кварц	0,1–0,8	3,76	3,8	0,19–4	1–2,7
Пальгорскит					до 5
Иллит	3				1–5

(от 19 до 50 определений для одного показателя). Образцы отобраны из 61 скважины на разных объектах. Результаты изучения (табл. 3) свидетельствуют, что средние значения отдельных показателей свойств карбонатных пород различных горизонтов отличаются мало.

Однако есть четкая зависимость между показателями свойств (например, прочности от пористости, рис. 3, а, б) для известняков, в которых присутствуют прослой глинистых разностей и участки с повышенной нарушенностью, а также прослой кавернозных пород.

**Свойства карбонатных пород шуровского и неверовского циклов.** Остановимся на детальном исследовании образцов ядра карбонатных пород, отобранных из глубоких скважин и привязанных к циклам. Результаты базируются на изучении около 160 образцов (табл. 4), отличающихся по текстурным признакам в разных частях циклов.

Породы имеют в основном биогенное происхождение, поэтому необходимо различать типы биокластов, каждый из них имеет определенную микроструктуру, которая может влиять на свойства. Относительная концентрация биокластов различных типов значительно варьирует (рис. 4), что вносит существенный вклад в изменчивость физических свойств пород. Например, так называемые органогенные известняки, встречающиеся в карбонатных толщах, обладают пористостью от 7 до 39%, а значения модуля деформации изменяются в 5 раз и более.

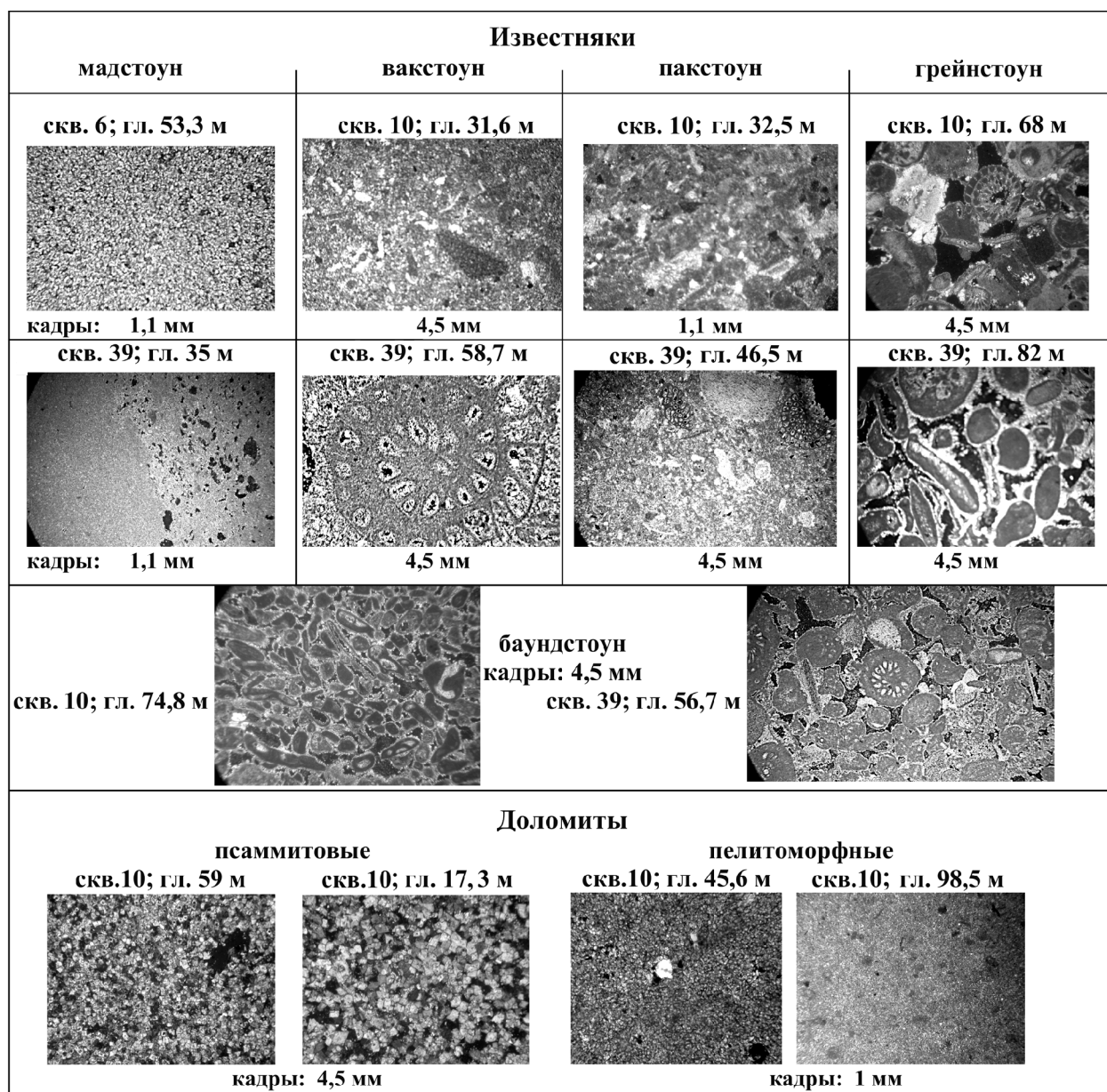


Рис. 4. Примеры типов карбонатных пород и биокластов (в шлифах), встреченных на территории района Москва-Сити

Необходимо иметь в виду, что карбонатные породы претерпевали неоднократные вторичные изменения (растворение при проявлениях карста, перекристаллизацию, формирование цемента) еще в каменноугольную эпоху. Эти изменения связаны с тем, что мелководный морской бассейн, в котором накапливались осадки, испытывал частые гляцио-эвстатические флуктуации уровня, сопровождавшиеся осушением морского дна и формированием палеопочвенных профилей в аридных условиях. Такие профили способствуют текстурному преобразованию пород, особенно изменению характера порового пространства. Макропоры, как правило, распределены неравномерно либо сгруппированы в цепочку по слоистости, залечены тонкокристаллическим кальцитом, имеют изометричную или слегка вытянутую форму, их размеры варьируют от долей

миллиметра до каверн (5–10 мм), часть пор образована в результате разрушения скелетов организмов. Если каверны более крупные и часть их соединена трещинами выщелачивания, то создаются условия для возникновения сквозных полостей с высокой проницаемостью. Такие участки встречаются в перхуровских известняках, в доломитах домодедовской и шуровской свит.

Особое значение для оценки проницаемости известняков и доломитов имеет характер порового пространства, которое может быть заполнено кальцитом, глинистыми частицами и 2–5-микронными кварцевыми зернами. В табл. 5 представлены данные измерения проницаемости по воздуху для 15 изученных образцов пород касимовского яруса с глубины от 16 до 40 м. Наиболее проницаемы доломиты и пакстоуны нижней части циклита.

В общем можно выделить три вида пород, различающихся по степени сохранности исходной биоморфной структуры: хорошо и плохо сохранившаяся структура и почти полностью переработанная перекристаллизацией до тонко- и мелкозернистой.

Важное значение для выявления физико-механических свойств карбонатных пород имеет изучение их компонентного состава. Как видно из данных табл. 6, среди примесей преобладает кремнезем, который встречается в породах как в виде кремневых желваков, тонких линзочек, заполнения пор, так и в рассеянном состоянии. Кроме того, как в известняках, так и в доломитах могут присутствовать гипс, лимонит, розазит, марказит, калиевый полевой шпат, кристобалит, палыгорскит, натролит, содержание которых может варьировать от долей процента до 1–2%. Присутствие рассеянного кремнезема в породах увеличивает их прочность, но как фактор формирования последней имеет второстепенное значение. Упрочняющая роль кремнезема проявляется не только как эффект от цементации карбонатных зерен, но и как эффект от залечивания пористости, т.е. повышается прочность и снижается проницаемость пород соответственно.

Известняки на 95–100% сложены кальцитом, в доломитах содержание  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  составляет от 60 до 95%. Промежуточные разновидности, как правило, содержат поровну кальцита и доломита (по 41–56%) либо содержат их примеси в меньшем количестве, что позволяет называть породу известковистой, доломитистой и т.п.

Отметим, что в отчетах по изысканиям почти не используются принятые в научной литературе классификации. Как правило, большая часть керна идентифицируется как известняк, однако доломиты если не преобладают, то содержатся в равном количестве (по числу отобранных образцов), как, например, в разрезах скважин, пробуренных на территории Москва-Сити в районе Делового центра. Доломиты отличаются практически не меняющейся с глубиной величиной плотности твердой фазы, в то время как для известняков важно положение их в ритме, так как в зависимости от этого в породе появляются доломитизация, глинистость, окремнение, кавернозность. При этом нет закономерности в изменении с глубиной плотности и пористости карбонатных пород рассматриваемого разреза. Часто при равной пористости прочность на одноосное сжатие по глубине в изученных известняках может изменяться на порядок, а в доломитах — в 15 раз. Присутствие рассеянного кремнезема в породах иногда увеличивает их прочность и проявляется вероятнее всего как эффект залечивания пористости. В то же время для литотипов бадстоун и грейнстоун хорошо прослеживается снижение прочности с увеличением размеров органических остатков, что соответствует общей тенденции к повышению прочности с уменьшением зернистости породы.

По результатам изучения свойств разных литотипов карбонатных пород видно (табл. 7), что такие показатели, как плотность и пористость, определяющие прочность как в сухом, так и водонасыщенном

Таблица 7

Сводная инженерно-геологическая характеристика изученных литотипов карбонатных пород

Свойства пород	Известняки					Доломиты	
	мадстоун	вакстоун	пакстоун	грейнстоун	грейнстоун пелоидный	псаммитовый	пелитоморфный
Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	$\frac{2,72}{2,68-2,79}$	$\frac{2,71}{2,66-2,79}$	$\frac{2,72}{2,71-2,72}$	$\frac{2,69}{2,66-2,7}$	$\frac{2,69}{2,66-2,75}$	$\frac{2,80}{2,77-2,82}$	$\frac{2,83}{2,80-2,92}$
Плотность сухой породы, г/см <sup>3</sup>	$\frac{2,23}{2,00-2,58}$	$\frac{2,20}{2,04-2,44}$	$\frac{2,15}{2,03-2,27}$	$\frac{2,01}{1,89-2,43}$	$\frac{2,03}{1,70-2,43}$	$\frac{2,14}{1,91-2,51}$	$\frac{2,27}{1,87-2,54}$
Общая пористость, %	$\frac{18}{5-25}$	$\frac{19}{12-26}$	$\frac{21}{17-25}$	$\frac{18}{10-29}$	$\frac{24}{10-37}$	$\frac{22}{11-29}$	$\frac{20}{8-33}$
Скорость продольной волны, км/с	$\frac{4,3}{3,70-5,2}$	$\frac{3,4}{3,1-3,67}$	$\frac{3,7}{3,7-4}$	$\frac{3,4}{3,11-3,82}$	$\frac{3,4}{2,56-4,7}$	$\frac{3,8}{3,22-4,32}$	$\frac{4,1}{2,8-4,1}$
Динамический модуль упругости, 10 <sup>3</sup> МПа	$\frac{40}{25-58}$	$\frac{25}{21-30}$	$\frac{26}{25-28}$	$\frac{25}{13-33}$	$\frac{20}{10-35}$	$\frac{28}{15-39}$	$\frac{26}{4-55}$
Прочность, одноосное сжатие, МПа	$\frac{59}{23-75}$	$\frac{38}{19-71}$	$\frac{46}{42-50}$	$\frac{23}{9-70}$	$\frac{18}{5-39}$	$\frac{27}{11-37}$	$\frac{54}{5-152}$
Прочность, одноосное сжатие водонасыщенных образцов, МПа	$\frac{19}{1,4-58}$	$\frac{17}{0,4-46}$	$\frac{29}{9,6-40}$	$\frac{22}{1-54}$	$\frac{22}{1-99}$	$\frac{23}{1-52}$	$\frac{12}{1-48}$
Коэффициент анизотропии (по скорости продольной волны)	0,88–1,9	0,77–1,22	0,94–1,08	0,82–1,24	0,9–1,11	0,77–1,16	0,85–1,17
Модуль общей деформации, МПа			300	$\frac{318}{194-358}$	271		$\frac{226}{207-245}$

Примечание. Над чертой — средние значения, под чертой — разброс значений.

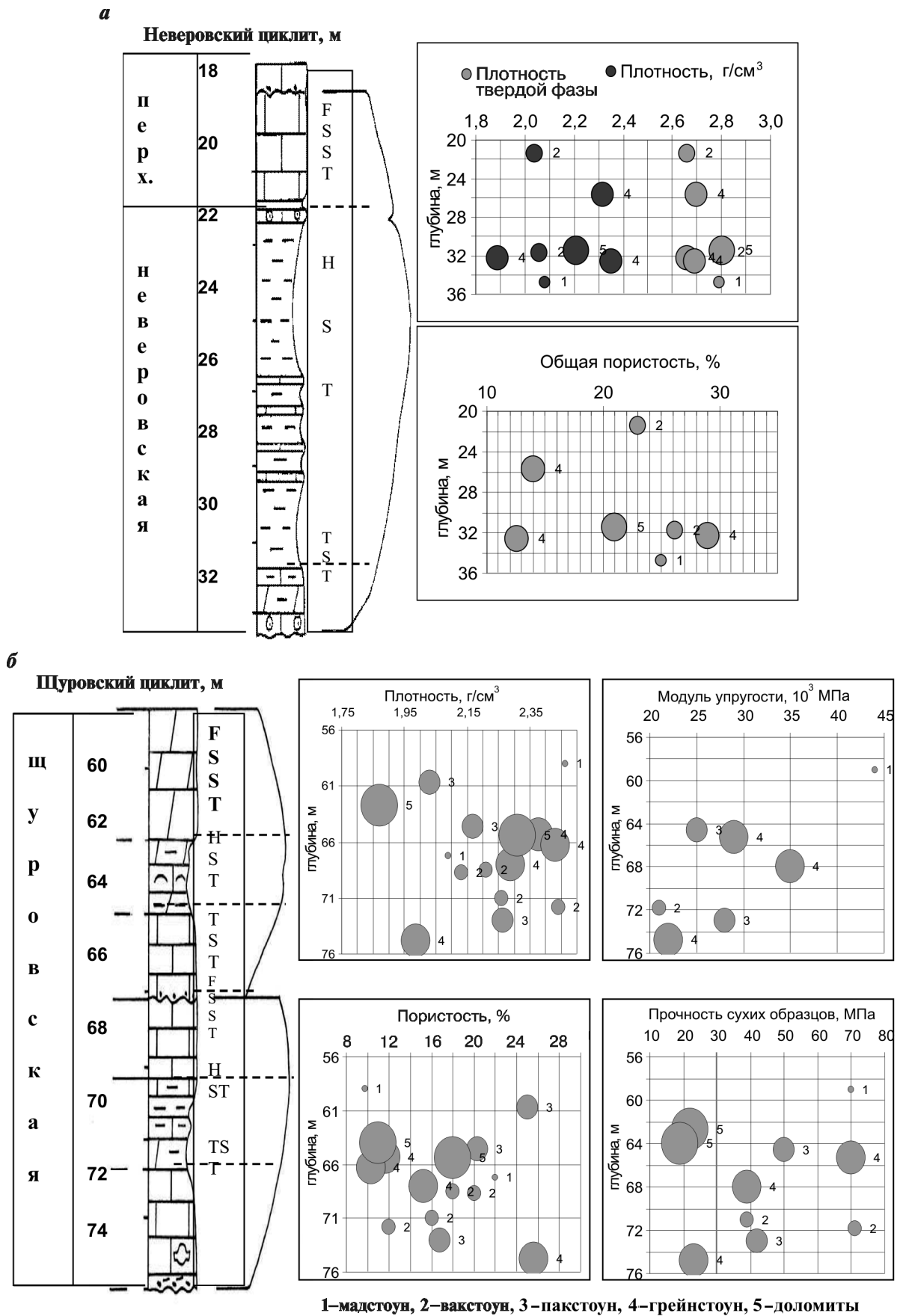


Рис. 5. Примеры цикллитов (а, б) и изменение свойств литотипов карбонатных пород в их пределах



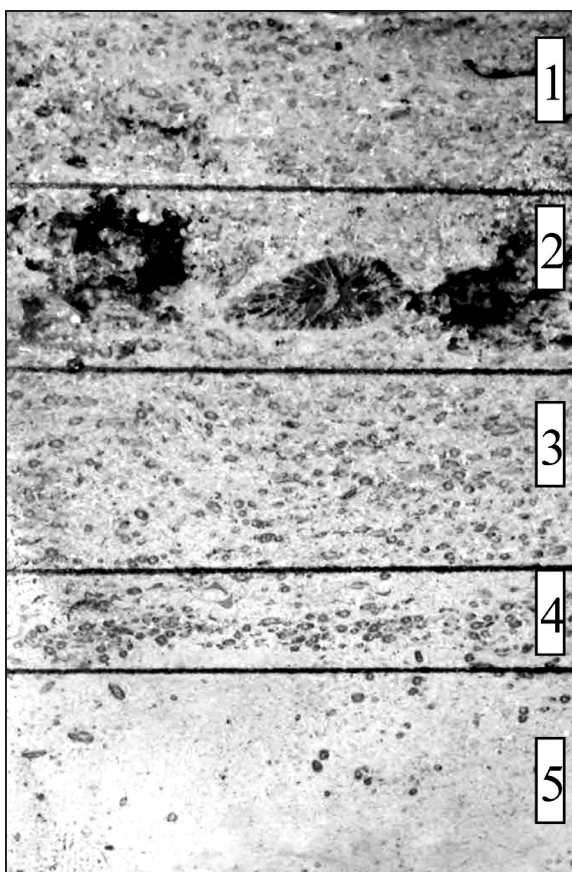


Рис. 6. Литотипы известняка в одном образце: 1 — вакстоун детритовый, 2 — пакстоун, 3 — мадстоун высокопористый, 4 — мадстоун с ориентированной пористостью, 5 — мадстоун массивный

состоянии, связаны с литотипом породы, в котором в свою очередь отражается внутренняя структурная морфология. Упругие свойства известняков и доломитов (в частности, скорость продольных волн, колеблющаяся в пределах 3,4–4,3 км/с) определяются в основном пористостью и мало зависят от состава этих пород. Исследование анизотропии рассматриваемых карбонатных пород, проведенное с помощью акустополариметрии, и скорости распространения упругих волн в трех направлениях показало, что практически все образцы в той или иной степени анизотропны. Анизотропия отражает главным образом текстурные особенности пород, которые связаны с ориентированными скоплениями пор и каверн, вытянутых вдоль поверхностей напластования, либо отдельных, иногда сообщающихся вытянутых пор. При этом не наблюдается закономерное изменение свойств с глубиной, как это принято считать. Изменение свойств в соответствии с литотипами, скорее, следует за строением циклитов (рис. 5).

В неверовском циклите наиболее опробованным оказался интервал окончания трансгрессивного тракта, следовательно, здесь весьма вероятно присутствие разрушенных или кавернозных образований с повышенной пористостью, что и отражено на рис. 5, а. Аналогичная ситуация наблюдается и в наиболее

опробованном интервале щуровского циклита (рис. 5, б). Здесь опробованные стратиграфические секвенции соответствуют либо положению циклита при образовании тракта высокого стояния уровня моря (HST), где в их средних частях присутствуют глины и доломитизация, либо в конце трансгрессивного тракта (TST).

Сравнительная характеристика свойств литотипов в изученных образцах карбонатных пород, выполненная комплексом методов, показывает, что свойства известняков и доломитов находятся в соответствии с литотипами и строением циклитов. При анализе свойств пород необходимо иметь в виду, что в процессе бурения в большей степени опробуются «слабые» разновидности карбонатных пород, которые далеко неравномерно распределены по литотипам. Например, в рассмотренных материалах наиболее опробованными оказались вакстоуны (14%), грейнстоуны (22%) и разновидности доломитов (15%), принадлежащие, как правило, нижним частям циклов. Это обстоятельство усугубляется еще и тем, что один образец карбонатной породы, представляющий собой часть керна размером 15–20 см, может быть настолько неоднородным и состоять из разных литотипов (рис. 6), что его нельзя рассматривать как единую пробу. Это не позволяет однозначно определять средние показатели свойств пород во всем опробуемом интервале. Следовательно, в лабораторию не попадают образцы, отобранные на границе ритмов, поэтому невозможно корректно провести испытания, чтобы получить все необходимые показатели свойств.

**Заключение.** Карбонатные грунты каменноугольного возраста представляют собой значительно более сложную систему, чем считалось ранее. Назрела необходимость составления атласа-кадастра отложений каменноугольного возраста для территории Москвы, который должен включать:

анализ геологических материалов на основе современной стратиграфической схемы;

последовательное описание керна скважин на ключевых участках под наиболее ответственные сооружения;

детальное опробование для определения комплекса свойств всех разновидностей карбонатных пород (включая глинистые), встреченных в разрезе при бурении скважин;

характеристику каждой разновидности породы, которая должна сопровождаться определением состава (химического, минерального), строения на макро- и микроуровнях, изучением вторичных изменений и т.п.;

возраст и схему расчленения каменноугольных отложений на всей территории Москвы с информацией о положении пород в разрезе;

выявление корреляционных связей между найденными параметрами и составление базы данных, общедоступной как для проектировщиков, так и для изыскательских организаций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алексеев А.С., Горева Н.В., Реймерс А.Н.* Новая местная схема стратиграфического расчленения касимовского яруса верхнего карбона Московского региона // Бюлл. региональной межведомственной стратиграфической комиссии по центру и югу Русской платформы. Вып. 4. М.: РАЕН, 2009. С. 50–59.

Геологические проблемы Московской агломерации / Под ред. Г.А. Голодковской, А.В. Калинина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 192 с.

*Кабанов П.Б.* Бентогенные карбонатные фации фанерозоя: обзор и пример из карбона Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17, № 5. С. 41–59.

*Кривошеева З.А., Комова Т.А., Коптева-Дворникова М.В., Панасьян Л.Л.* Некоторые закономерности формирования свойств пород мячковского горизонта среднего карбона Подмосковья // Сергеевские чтения. Вып. 4. М.: РАН, 2002. С. 42–45.

*Dunham R.J.* Classification of carbonate rocks according to depositional texture / Classification of carbonate rocks // Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem. 1962. Vol. 1. P. 108–121.

*Kabanov P., Baranova D.* Cyclothems and stratigraphy of Upper Moscovian-basal Kasimovian succession of central and northern European Russia // Proc. 15th Int. Cong. Carbonif. Perm. Amsterdam: Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. 2007. P. 147–160.

Поступила в редакцию  
11.10.2011