

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ХВОЙНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ

В.Ю. Абрамов, П.Е. Белоусов,

Г.Н. Колосова, Р.В. Лобзова

Инженерный факультет

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Л.Ю. Магазина

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН)
Старомонетный пер., 35, Москва, Россия, 119017

Рост объемов жилищного строительства, ремонт имеющихся зданий и сооружений и пр. требует расширения производства цемента и других строительных материалов на основе поисков, разведки и вовлечения в эксплуатацию новых месторождений карбонатного сырья.

Ключевые слова: карбонатные породы, петрохимия, петрофизика, комплексное изучение.

Петрохимические и петрофизические свойства карбонатных пород являются одними из определяющих для решения вопроса о возможности использования этих пород для производства цемента или доломитовой муки и подсчета их запасов [2; 3].

Исследования вещественного состава, петрохимических и петрофизических свойств карбонатных пород проводились на материалах, собранных авторами при полевых работах (учебная геологическая и геофизическая практика РУДН) в июне—июле 2008 г. на участке Дворищи Хвойнинского района Новгородской области. В задачи полевых работ входил поиск перспективных площадей карбонатных пород пригодных для использования в качестве цементного сырья, выбор участка для проведения детальных геолого-разведочных работ, предварительная оценка качества сырья. Качество сырья оценивалось по результатам лабораторных исследований химическими и петрофизическими методами.

Район поисковых работ расположен в пределах северо-западного крыла Московской синеклизы (несколько севернее от начала погружения ее оси), примыкающей к юго-восточному склону Балтийского щита [4]. В пределах впадины располагаются две крупные структуры: Валдайско-Солигаличский и Подмосковный авлакогены. Кроме того, по структурно-геоморфологическим признакам выделяются юго-западная, центральная и северо-восточная зоны впадины.

В *геологическом строении района* принимают участие архейские, протерозойские, кембрийские, ордовикские, девонские, каменноугольные и четвертичные отложения.

Из перечисленных отложений на поверхность выходят лишь палеозойские образования верхнего девона (надсмотринско-ловатский горизонт), нижнего карбона (верхние горизонты визейского яруса) и среднего карбона (московский ярус). Палеозойские породы сплошным чехлом перекрыты четвертичными отложениями (рис. 1).

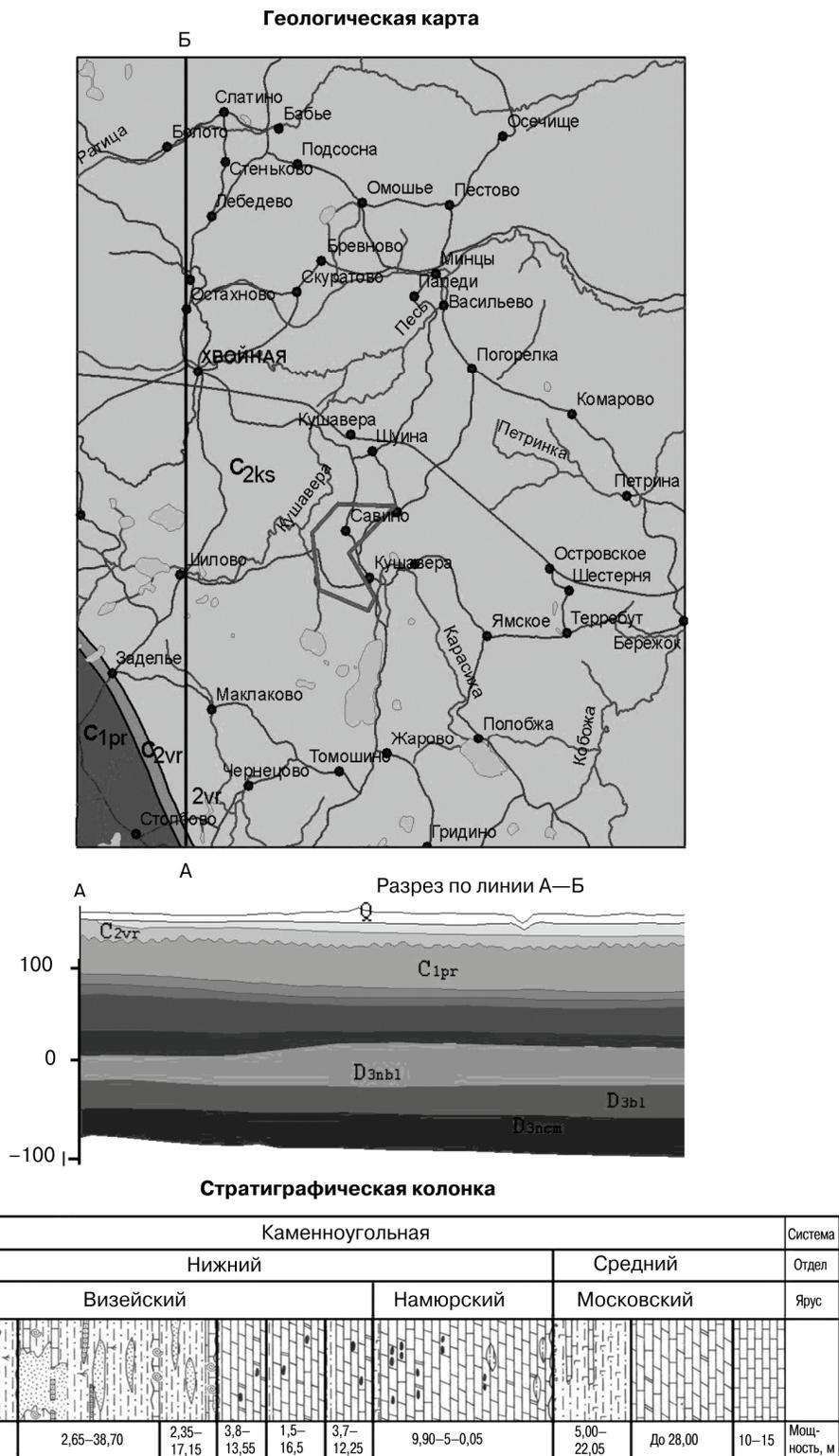


Рис. 1. Схема геологического строения района

В Хвойнинском районе известняки широко развиты в его западной части среди карбонатных пород протвинского горизонта нижнего карбона. Они представлены 40—50-метровой толщиной известняков, доломитов, доломитизированных и кремнелых известняков, большей частью толстоплитчатых и весьма крепких. Расширение сырьевой базы района возможно за счет выявления ряда участков среднекаменноугольных известняков каширского горизонта, ранее считавшихся малоперспективными. Представленный ниже материал доказывает, что эти известняки вполне пригодны для использования в цементной промышленности, а также в качестве флюсов для цветной и черной металлургии.

Проведенные на начальной стадии работ опережающие опытно-методические *геофизические работы* показали, что наиболее экспрессным методом для картирования геологических границ известняков и доломитов и выявления в них зон выветривания и карстообразования являются частотное электромагнитное зондирование (ЧЭЗ-СГ) и высокочастотное радиоволновое зондирование (РВЗ). Частотное электромагнитное зондирование терригенных и хемогенных осадочных пород на этом участке позволило выявить особенности распространения и условия залегания продуктивных отложений, оконтурить вероятные перспективные площади по высоким величинам удельного кажущегося электрического сопротивления (УЭС), увязать геологические границы между скважинами и горными выработками и наметить вероятные зоны трещиноватости и закарстованности карбонатных пластов. Работы выполнялись по линиям профилей, проложенных между имевшимися на площади карьерами и скважинами, пробуренными в разное время до и после проведения геофизических работ.

По геофизическим профилям участка Дворищи (рис. 2) достаточно четко отбивается вероятная граница между плотными доломитами и известняками нижней толщи и трещиноватыми, обводненными известняками и доломитами средней толщи. Эта граница проходит по изолинии эффективного электросопротивления $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. На участке профиля 1 между пикетами 596 300—596 600 м выделяются отчетливые вертикальные структуры пониженного УЭС, уходящие на большую глубину (более 50 м), что говорит о большой вероятности наличия здесь обширных карстовых образований. Суммарная протяженность этих вертикальных структур составляет около 400 м. Степень возможной закарстованности пород по профилю 1 оценивается по электроразведочным данным около 25—30%. Кроме того, эффективное УЭС внутри продуктивной толщи не выдержано и в большинстве своем пониженное, что позволяет предполагать здесь наличие доломитов среди известняков (более точно бесконтактными наземными геофизическими методами это пока неопределимо). На профиле 2 ситуация более выдержанная, но эффективное электрическое сопротивление пониженное почти по всей длине профиля, что вновь позволяет предполагать здесь наличие процессов доломитизации.

По результатам комплекса проведенных работ можно говорить о наличии здесь месторождения карбонатного сырья пластового типа. Пласт месторождения залегает почти горизонтально (максимальный наклон пластов до 10°) (рис. 2).

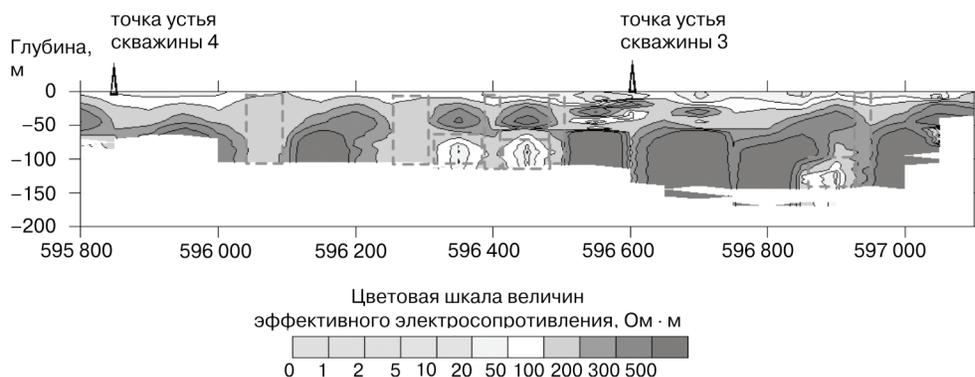


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по результатам частотного электромагнитного зондирования (профиль 1)

В стратиграфическом плане породы залегают в пределах каширского горизонта московского яруса среднего карбона. Средняя их мощность 28 м. Представлен горизонт светло-серыми, желтовато-серыми и розоватыми известняками и доломитами органогенно-обломочной структуры, местами сильно перекристаллизованными. Известняковые разности широко распространены, но часто переслаиваются с линзами доломитизированных известняков и доломитов. Среди известняков встречаются прослоями глиноподобных известняков, а также окремнелых известняков. Стратиграфическое положение и литологические типы пород на участке Дворище демонстрируются разрезом по скважине 4 (рис. 2), керн которой для исследований нам был любезно предоставлен геологом ООО «ГеолПромТек» В.Н. Хасановым. Здесь на верейских терригенных отложениях залегают карбонатные породы каширского горизонта.

Исследование *магнитной восприимчивости* 73 образцов керна по скважине № 4 (рис. 3) показало, что по полученным результатам можно выделить три аномалии на глубинах:

- 1) 27,5—28 м с максимальным значением $127 \cdot 10^{-5}$ единиц СИ;
- 2) 31,2—31,5 м с максимальным значением $97 \cdot 10^{-5}$ единиц СИ;
- 3) 33,5—35,6 м с максимальным значением $45 \cdot 10^{-5}$ единиц СИ.

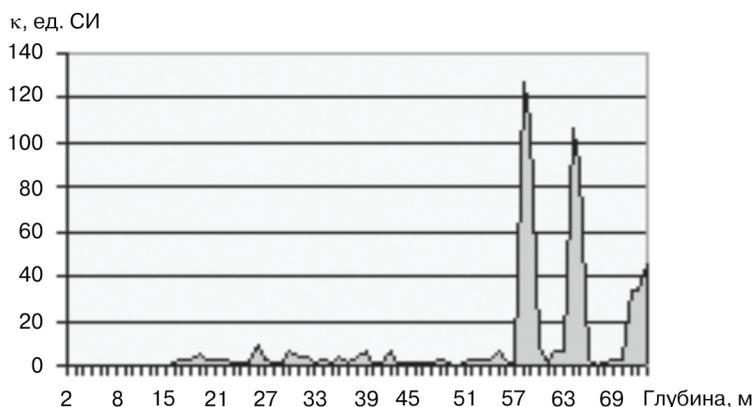


Рис. 3. Результаты измерений магнитной восприимчивости по скв. № 4

Аномальное значение магнитной восприимчивости в первом интервале объясняется присутствием зерен полевого шпата с тонкодисперсным глинисто-рудным веществом, замеченных в шлифе, а также точечными включениями пирита, найденными под бинокуляром в нерастворимом остатке образца. На графике химического состава наблюдается повышенное содержание MgO , NaO в этом интервале.

Второй интервал отличается повышенным содержанием Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , SiO_2 . Аномалия магнитной восприимчивости связана с рудной минерализацией образца — минералами железа.

Повышенная магнитная восприимчивость третьего интервала объясняется ожелезнением верейских глин, что хорошо видно при рассмотрении шлифа. Также заметен резкий рост содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 . Приуроченность аномалии к данному литологическому горизонту позволяет говорить о ней как о вероятном маркирующем горизонте с повышенной магнитной восприимчивостью.

Исследование радиоактивности 73 образцов не выявило аномалий. Все полученные значения находятся в пределах нормы и составляют 10—13 мр/ч.

Проведенные нами *петрографические исследования* типичных образцов разреза по скважине позволили выделить несколько типов известняков, отличающихся текстурно-структурными особенностями и минеральным составом. Преобладают известняки светло-серого цвета массивной текстуры скрыто-мелкокристаллической структуры (обр. 4/14 на рис. 4), в некоторых разностях текстура слоистая. Кроме преобладающих светло-серых известняков отмечаются белые с розоватым оттенком также крепкие массивные известняки, в которых местами наблюдаются пятна красноватого и коричневатого цвета (обр. 4/20). Значительно реже встречаются белые разуплотненные кавернозные известняки, для которых характерно наличие уплотненных желваков (обр. 4/26). Структура этих известняков скрытокристаллическая. Текстура желваковая отмечается и для белых крепких известняков, в которых кристаллы вторичного кальцита достигают 1 мм (обр. 4/39). В некоторых частях разреза имеются доломитизированные известняки и даже доломиты, последние приурочены к нижней части разреза (обр. 4/58, 4/61). Эти породы серого цвета местами с буроватым оттенком. В темно-серых до коричневатых шламовых известняках встречаются обломки кварца, зерна пелитизированного полевого шпата, листочки хлоритизированного биотита, кристаллы доломита и вторичного кальцита. Среди органических остатков в некоторых разностях известняков отмечаются пелициподы, а также криноидеи, мшанки, створки брахиопод, багряные водоросли. По Хавину (1958ф), для описываемого горизонта характерны фораминиферы: *Eostaffella ex gr. mosquensis* Viss., *Chamacamma aljutovica* Reitl. и др. Брахиоподы: *Orihotetes* sp. ind., *Chonetes carboniferus* Kevs., и др. и пелициподы: *Parallelodon* sp. ind.

Отмечаются и оолитовые разности, в которых размеры оолитов составляют 0,5—3 мм (обр. 4/33 на рис. 5). В нижней части разреза преобладают доломиты. Подстилаются карбонатные отложения ожелезненным глинистым веществом тем-

но-бурого цвета. В нем тонкослоистая текстура местами неравномерная, приобретает линзовидную и желваковую текстуры. Среди более крупного обломочного материала в этих породах встречаются зерна кварца, полевого шпата и единичные чешуйки слюды, а также обломки карбонатных пород.

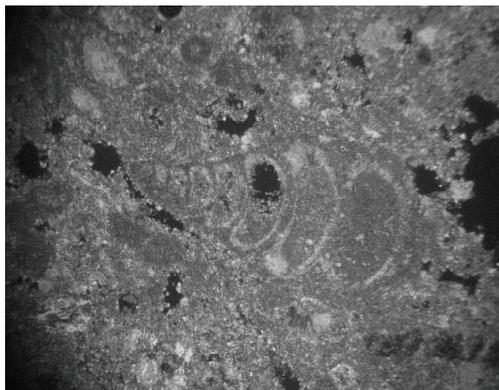


Рис. 4. Микрофотография шлифа № 4/14 (глубина 9,6 м)

Известняк биоморфный, темно-серого цвета кавернозный (черное — поры).
С анализатором. Ув.

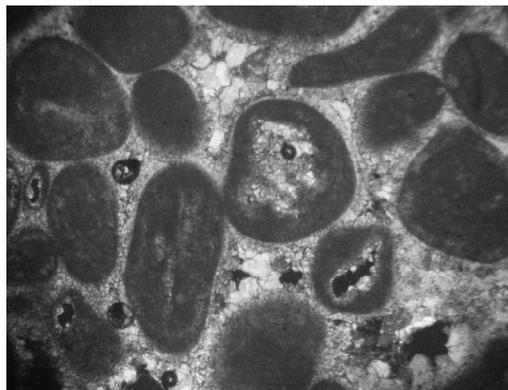


Рис. 5. Микрофотография шлифа № 4/33 (глубина 17,4 м)

Известняк оолитовый.
С анализатором. Ув.

Таким образом, среди карбонатных пород имеются известняки, доломитизированные известняки и доломиты. Известняки по цвету преимущественно светло-серые, некоторые прослои окрашены в розоватые, желтоватые, коричневатые тона окислами железа, а в темно-серые органическим веществом. По текстурно-структурным особенностям преобладают массивные известняки мелко-скрытокристаллические. Кроме них отмечаются слоистые, желваковые, оолитовые разности. Видимая пористость известняков увеличивается в трещиноватых и кавернозных их разностях. Минеральный состав известняков довольно однообразен: кальцит, реже доломит и арагонит. Из обломочного материала встречаются кварц (до 0,3 мм), зерна пелитизированного полевого шпата, чешуйки хлоритизированного биотита, глауконит, серицит. Гидроокислы железа распределены в известняках неравномерно, образуя либо мелкие округлые скопления (бобовины), но чаще выделяются в виде тонких примазок по трещинам, либо пропитывают пористые участки.

По мнению И.В. Хворова, проводившего здесь исследования в 50-е гг. XX в. [5], каширские отложения испытывают заметные латеральные изменения, выражающиеся как в появлении местами своеобразных карбонатных отложений, так и различном содержании терригенного материала и его характере.

Определение нерастворимого остатка, его гранулометрический и минеральный состав каждого класса карбонатной толщи Дворищенского участка проводилось по 9 образцам, из которых 6 растворились без остатка в 5%-ной соляной кислоте. Для оставшиеся трех образцов получены результаты, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты гранулометрического анализа нерастворимого остатка образцов (вес в гр)

Класс крупности	Обр. 5	Обр. 7	Обр. 73
>1	0,088	0,05	0,08
>0,5	0,169	0,101	0,615
>0,25	0,311	0,123	0,388
>0,1	0,527	0,205	0,822
>0,06	0,360	0,151	0,550
<<0,06	0,296	0,2	0,670
Суммарное содержание	1,751	0,83	3,126

По этим данным были построены кумулятивные нарастающие кривые (рис. 6), по которым можно оценить содержание любой фракции.

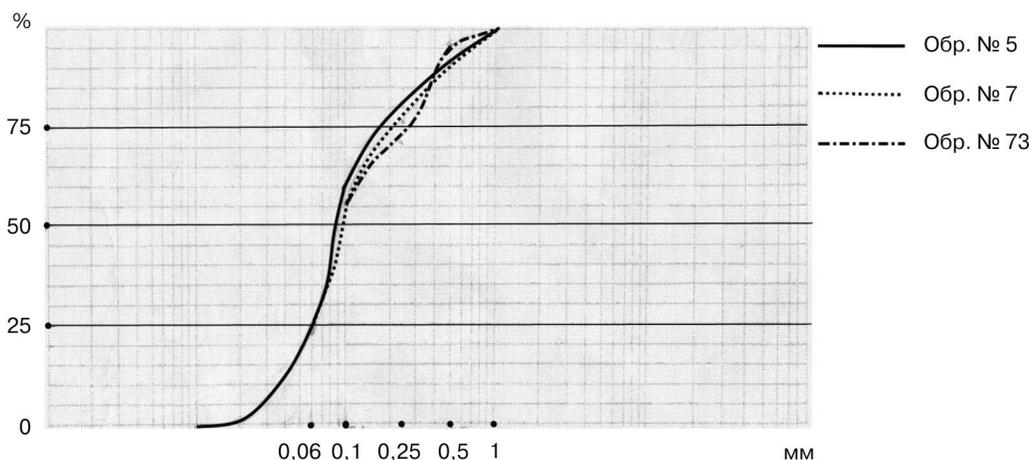


Рис. 6. Кумулятивные кривые нерастворимого остатка

По этим кривым определяются ряд гранулометрических коэффициентов — средний или медианный диаметр (M_d (мм) по Траску, Крумбейну) и коэффициент сортировки (S_o).

В анализируемых нами породах значения коэффициента сортировки колеблются от 1,7 до 2, что характеризует хорошую сортировку материала (табл. 3). Медианные диаметры песчаных зерен в образцах одинаковы и равны 0,09 мм (преобладает тонкозернистый песок)

Таблица 3

Расчетные гранулометрические коэффициенты по нерастворимым остаткам образцов

Показатель	Обр. 5	Обр. 7	Обр. 73
S_o	1,7	1,8	2
M_d , мм	0,09 мм	0,095 мм	0,095 мм

Таким образом, в результате водно-ситового анализа было определено, что известняки Дворищенского участка содержат мало примесей терригенного материала. Его состав: кварц двух генераций, глауконит трех генераций, единичные зерна роговой обманки, турмалина, охры, хромита, ильменита, биотита, пирита.

Детально просматривался минеральный состав каждого гранулометрического класса сухого остатка в целом и 100 зерен детально. Определялся класс ока-

танастии зерен по шкале Хабакова. Изучалась степень выветрелости зерен. Выяснялась дифференциация минералов по классам крупности

В выделенных гранулометрических классах образцов преобладает кварц двух генераций: прозрачный со стекляннм блеском и полупрозрачный матовый (в основном неокатанный и плохоокатанный) и комплексные пелитоморфные агрегаты, состоящие из мелких обломочных зерен кварца.

Вероятно, кварцевый материал поступал в водную среду из источников двух типов. Дальность транспортировки, судя по плохой окатанности, невелика. Частично зерна кварца растворены до состояния «скелетных» форм (глубокое химическое выветривание). Наибольшее количество кварца (60%) наблюдается во фракции меньше 0,1 мм. Во фракциях более 0,01 мм, преобладают пелитовые агрегаты, плохоокатанные, с ячеистой поверхностью с включениями мелких кварцевых зерен. Эти агрегаты легко распадаются на отдельные зерна.

В классах мелкого и тонкого песка $> 0,1$ и $> 0,25$ наблюдается разнообразный спектр акцессорных минералов в небольшом количестве: турмалин, хромит, охра, роговая обманка, ильменит, пироксен, биотит, пирит, серебристо-серые листочки металла (стружка), Fe-Mn оолиты и глауконит. Глауконит представлен тремя типами: темно-зеленым, светло-зеленым и буроватым. Глауконит концентрируется в классах менее 0,1 мм и более 0,06 мм. В более крупных классах он не отмечен. Формирование глауконита происходило в морском бассейне на небольших глубинах в зоне шельфа в прибрежно-морских условиях. Видимо, здесь на границе двух сред: поверхностного стока (пресные воды) и морского бассейна на геохимическом барьере и происходила коагуляция кварцевых частиц при изменении pH водной среды.

Химический состав пород (73 пробы) определялся методом ICP-QES- атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. В табл. 4 представлены данные по образцам, которые исследовались комплексно (петрографическими, петрофизическими методами).

Таблица 4

Химический состав и петрофизические свойства некоторых карбонатных и сопутствующих пород по скважине 4

№ проб/ глубина/ окислы	4/14	4/20	4/26	4/33 извест- няк	4/39	4/58 доломит	4/61 доло- мит	4/73 доло- мит
	9,6 м	12,7 м	14,5 м	17,4 м	20,3 м	27,5 м	29,3 м	35,6 м
CaO	51,59	47,32	48,28	50,51	42,17	36,57	31,76	10,31
MgO	0,58	1,19	1,89	0,33	0,43	20,31	20,68	2,29
Fe ₂ O ₃	0,15	0,72	0,21	0,14	0,22	0,33	0,24	9,61
SiO ₂	2,23	7,15	2,78	0,48	2,10	3,74	0,53	36,14
Al ₂ O ₃	0,13	1,24	0,34	0,14	0,44	0,41	0,19	14,80
TiO ₂	0,01	0,05	0,02	0,01	0,03	0,04	0,01	0,67
K ₂ O	0,04	0,08	0,08	0,04	0,09	0,09	0,06	7,64
Na ₂ O	0,01	0,01	0,07	0,06	0,06	0,19	0,06	0,015
P ₂ O ₅	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,13
Плотность, г/см ³	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,1	2,2
Магнитная вос- приимчивость, $n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ	0	2	9	1	6	127	1	45
УЭС, Ом · м				450		200	192	187

По химическим анализам в интервале от 7,75 м до 26,5 м содержание извести высокое более 45%, а в некоторых пробах до 54,46%, содержание магнезии невысокое — от 0,31 до 3%, в редких случаях выше 4%, но в низах разреза с глубины 26,5 м резко увеличивается, достигая более 20%.

Суммарное содержание щелочей от 0,5 до 1%, в некоторых разностях до 1,5%, что, видимо, связано с примесью обломочного материала, главным образом глинистого, что подтверждается высоким содержанием окиси калия в глинистых отложениях разреза. Спектральным анализом (табл. 5) в известняках были определены только тысячные доли процента марганца, свинца и меди, в доломитах содержание марганца и меди составляют сотые доли процента. Отмечается повышенные содержания железа, никеля и кобальта в доломитах, что, вероятно, связано с изоморфной примесью этих элементов в доломите (магнитная восприимчивость в них также повышенная). Анализируемые известняк и доломит различаются и по содержанию бария, что отражает различные условия осадкообразования этих карбонатов.

Таблица 5

Результаты спектрального анализа в обр. № 4/33, 4/47, 4/58 (%)

Элемент	Обр. 4/33 известняк оолитовый	Обр. 4/47	Обр. 4/58 доломит
Mn	0,007	0,01	0,03
Pb	0,002	—	0,005
V	—	—	0,007
Cu	0,007	0,002	0,01
Na	0,07	0,05	0,5
Ti	0,1	0,05	0,2
Co	—	—	<0,001
Ni	—	—	<0,001
Fe	0,05	0,05	0,7
Cr	0,002	0,002	0,003
Sr	0,05	0,03	0,05
Ba	0,005	0,007	0,01
B	<0,001	0,002	0,002

Примечание. Измерения выполняли аналитики С.И. Гаврилова и А. Галудзина спектральная лаборатория ИГЕМ РАН).

Таким образом, карбонатные породы разреза в основной своей массе высокоизвестковистые и маломagneзиальные, маложелезистые и низкокремнистые. В них по химическому составу была выделена продуктивная толща известняков (интервал 7,65—26,6 м), суммарное содержание элементов в которой не превышает допустимых норм. Действующие в настоящее время технические условия на качество карбонатных пород для производства портландцементного клинкера (ГКЗ 2007 г.) предъявляют следующие: содержание СаО в известняке должно быть не менее 45%. Количество примесей вредных оксидов в карбонатной породе не должно превышать: MgO — 4,0%; K₂O + Na₂O — 1,0%; P₂O₅ — 0,4% [3].

Заключение. Для определения возможности производства портландцемента из известняков Дворищенского участка, было изучено геологическое строение района и проведен ряд лабораторных исследований. Была измерена радиоактивность по скв. № 4, результаты которой не превысили фонового значения (до 10—

11 мкР/ч.). Также была измерена магнитная восприимчивость образцов, по результатам которой удалось выделить аномальные зоны на границе известняков и верейских глин и предположить возможность выделения геофизических маркирующих аномалий (маркеров) в этих пластах по магнитной восприимчивости. Аномалии превышают фоновые значения в 50—100 раз, в связи с рудной минерализацией образцов. Это подтверждают и данные спектрального анализа.

На основании изучения известняков в шлифах, их структурно-текстурных особенностей, установлены следующие генетические типы известняков: биоморфный, оолитовый, шламовый, биохомогенный.

Химический анализ известняков из керна скв. 4 позволил выделить продуктивную мощность согласно принятым нормативам. Кроме того, комплексный водно-ситовой анализ показал что известняки чистые, содержание нерастворимого остатка незначительное.

Таким образом, можно сделать вывод, что известняки Дворищенского района Новгородской области пригодны для производства портландцемента.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Герасимов И.П., Рихтер Г.Д. и др.* Север Европейской части СССР. Природные условия и естественные ресурсы СССР. — М.: Наука, 1966.
- [2] *Сементовский Ю.В.* Минеральное сырье. Известняк. — М.: Геоинформмарк, 1998.
- [3] *Сементовский Ю.В., Чернышов Н.П.* Минеральное сырье. Цементное сырье. — М.: Геоинформмарк, 1998.
- [4] *Сидоренко А.В.* Геология СССР. Т. 1: Ленинградская, Псковская и Новгородская области. — Недра, 1974.
- [5] *Хворова И.В.* Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. — М.: Изд-во АН СССР, 1958.

PETROCHEMICAL AND PETROPHYSICAL PROPERTIES OF CARBON ROCKS HVOYNOE DEPOSIT

**V.Yu. Abramov, P.E. Belousov,
G.N. Kolosova, R.V. Lobzova**

Engineering faculty
People's Friendship Russian University
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

L.Yu. Magazina

IGEM RAN
Staromonetny per., 35, Moscow, Russia, 119017

Questions of research and mapping of carbonaceous deposits, based on petrophysical, petrochemical and geological methods, are discussed.

Key words: carbonaceous rocks, petrochemistry, petrophysics, complex investigations.