

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛОВЫХ ПОРОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ КАРСТООПАСНОСТИ НА ПЛОЩАДКЕ РАЗМЕЩЕНИЯ КУРСКОЙ АЭС-2



Из фототеки Н.А. Попенко

ПОПЕНКО Н.А.*

АО «Атомэнергопроект», г. Москва, Россия, engeolab@mail.ru
 Адрес: ул. Бакунинская, д. 7, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия
 Российский государственный геологоразведочный университет
 им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия
 Адрес: ул. Миклухо-Маклая, д. 23, г. Москва, 117997, Россия

ГЕОРГИЕВСКИЙ А.Ф.

Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия,
geo.gaf@yandex.ru
 Адрес: ул. Орджоникидзе, д. 3, г. Москва, 115923, Россия

МИРОНОВ Н.А.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
 г. Москва, Россия, namironov@mail.ru
 Адрес: ул. Вересаева, д. 15, г. Москва, 121357, Россия

ПЕНДИН В.В.

Российский государственный геологоразведочный университет
 им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 18.10.2018 / Принята к публикации 24.09.2019 / Дата публикации 30.09.2019

© ООО «Геомаркетинг», 2019

Аннотация

При оценке инженерно-геологических условий территорий размещения АЭС весьма существенную роль играют минералого-петрографические характеристики пород. От них, как известно, во многом зависят свойства отложений, а деформации различного генезиса приводят к необратимым текстурным изменениям в горных породах. Рассматриваются минералого-петрографические методы исследований, которые дают возможность анализировать, систематизировать и прогнозировать свойства и характеристики горных пород, а изучение их структурно-текстурных особенностей — выявить зоны деформации или зоны активного развития инженерно-геологических процессов. Описана методика минералого-петрографических исследований отложений, развитых на промплощадке Курской АЭС-2, включающая изучение прозрачных шлифов с использованием поляризационного микроскопа (фирмы Zeiss), рентгеноспектральный анализ образцов на приборе РеСПЕКТ и рентгенофазовый анализ на дифрактометре ARLX'TRA. Представлены результаты изучения меловых и других пород, приведены их микрофотографии с описанием. Всего из разреза площадки Курской АЭС-2 исследованы в шлифах с помощью поляризационного микроскопа 200 образцов карстующихся меловых пород, а также покрывающих и подстилающих их отложений, и выполнены рентгенофазовый и спектральный анализы 124 образцов. На основе изучения и анализа петрографического состава, строения меловых отложений и количественного содержания в них элемента стронция (Sr) сделан вывод о степени карстоопасности изучаемой промплощадки. Показано, что меловые породы характеризуются высоким содержанием Sr и по этой причине и другим показателям (геоморфологическим, геологическим, гидрогеологическим, гидрогеохимическим, геофизическим) не подвержены развитию карстового процесса. Отмечается несомненная актуальность минералого-петрографических исследований карстующихся и покрывающих отложений с целью оценки карстоопасности территорий, сложенных меловыми породами.

Ключевые слова:

минералого-петрографические исследования; рентгенофазовый, рентгеноспектральный анализы; меловой карст; карстоопасность; стронций (Sr); атомная электростанция (АЭС)

Ссылка для цитирования:

Попенко Н.А., Георгиевский А.Ф., Миронов Н.А., Пендин В.В. Минералого-петрографические исследования меловых пород для оценки их карстоопасности на площадке размещения Курской АЭС-2. Инженерная геология, Том XIV, № 3, с. 20–35, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-3-20-35>.

MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC STUDIES OF CHALK ROCKS FOR THEIR KARST HAZARD ASSESSMENT AT THE KURSK NPP-2 SITE

NADEZHDA A. POPENKO*

"Atomenergoproekt" JSC, Moscow, Russia, engeolab@mail.ru
Address: Bld. 7, Pde 1, Bakuninskaya., 105005, Moscow, Russia
Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI),
Moscow, Russia
Address: Bld. 23, Miklukho-Maklaya St., 117997, Moscow, Russia

ALEXEY F. GEORGIEVSKY

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow,
Russia, geo.gaf@yandex.ru
Address: Bld. 3, Ordzhonikidze St., 115923, Moscow, Russia

NIKOLAY A. MIRONOV

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare
Elements, Moscow, Russia, namironov@mail.ru
Address: Bld. 15, Veresaeva St., 121357, Moscow, Russia

VADIM V. PENDIN

Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI),
Moscow, Russia

Original paper

Received 18 October 2018 / Accepted 24 September 2019 / Published 30 September 2019

© "Geomarketing" LLC, 2019

Abstract

The mineralogical and petrographic characteristics of the rocks play a highly significant role when assessing engineering-geological setting of the territory of the NPP placement. As recent studies have shown, the properties of deposits largely depend on them, and deformations of different genesis lead to irreversible textural changes in rocks. Mineralogical-petrographic research methods are considered, which enable to analyze, systematize and predict the properties and characteristics of rocks, and the study of their structural and textural features — to identify deformation zones or zones of active development of engineering-geological processes. The method of mineralogical and petrographic studies of deposits developed at the Kursk NPP-2 industrial site is described, including the study of transparent thin sections using a polarizing microscope (Zeiss), X-ray spectral analysis of samples via the ReSPECT device and X-ray phase analysis via the ARLX'TRA diffractometer. The results of the study chalk and other rocks are presented, their photomicrographs with the description are provided. In total, 200 samples of karst chalk rocks, as well as covering and underlying sediments, were examined from sections of the Kursk NPP-2 site and in thin sections using a polarizing microscope, 124 samples were performed by X-ray phase and spectral analyzes. The conclusion is made about the degree of karst hazard of the studied industrial site based on the study and analysis of the petrographic composition, the structure of chalk deposits and the quantitative content of strontium (Sr) element in them. It is shown that chalk rocks are characterized by a high Sr content and, for this reason, other indicators (geomorphological, geological, hydrogeological, hydrogeochemical, geophysical) are not subject to the development of the karst process. The undoubted relevance of mineralogical-petrographic studies of karst and cover deposits in order to assess the karst hazard of territories composed of chalk rocks is noted.

Key words:

mineralogical-petrographic studies; x-ray phase, x-ray spectral analyses; chalk karst; karst hazard; strontium (Sr); nuclear power plant (NPP)

For citation:

Popenko N.A., Georgievsky A.F., Mironov N.A., [Pendin V.V.]. Mineralogical-petrographic studies of chalk rocks for their karst hazard assessment at the Kursk NPP-2 Site. *Engineering Geology World*, Vol. XIV, No. 3, pp. 20–35, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-3-20-35>.

Введение

Минералого-петрографическое изучение и анализ горных пород повсеместно применяются в геологических исследованиях, а в инженерном карстоведении в настоящее время практически не используются. При инженерных изысканиях на особо ответственных объектах, таких как АЭС, подобные исследования могут иметь весьма существенное значение при оценке инженерно-геологических условий¹.

Как известно, свойства пород во многом зависят от их минерального состава^{2, 3}, деформации различного генезиса

приводят к необратимым текстурным изменениям в горных породах. Минералого-петрографические исследования дают возможность анализировать, систематизировать и прогнозировать свойства и характеристики горных пород, а изучение их структурно-текстурных особенностей — выявить зоны деформации или зоны активного развития инженерно-геологических процессов [2, 3, 8, 9, 10]. Естественно, оценка и прогноз активности карстового процесса могут быть даны только с учетом комплекса полевых и лабораторных методов изучения территорий (геоморфологических, геофизических, гидрогеологических, гидро-

¹ Кузнецов В.Г., 2007. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. ООО «Недра-Бизнесцентр», Москва.

² Сергеев Е.М. (ред.), 1984. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Том II. Изд-во МГУ, Москва.

³ Bradbury K.K., 2012. Rock properties and structure within the San Andreas Fault observatory at depth (SAFOD) borehole, Northwest of Parkfield, California: in situ observations of rock deformation processes and fluid-rock interactions of the San Andreas fault zone at ~ 3 km depth. Dissertation, Utah State University, Logan, Utah.

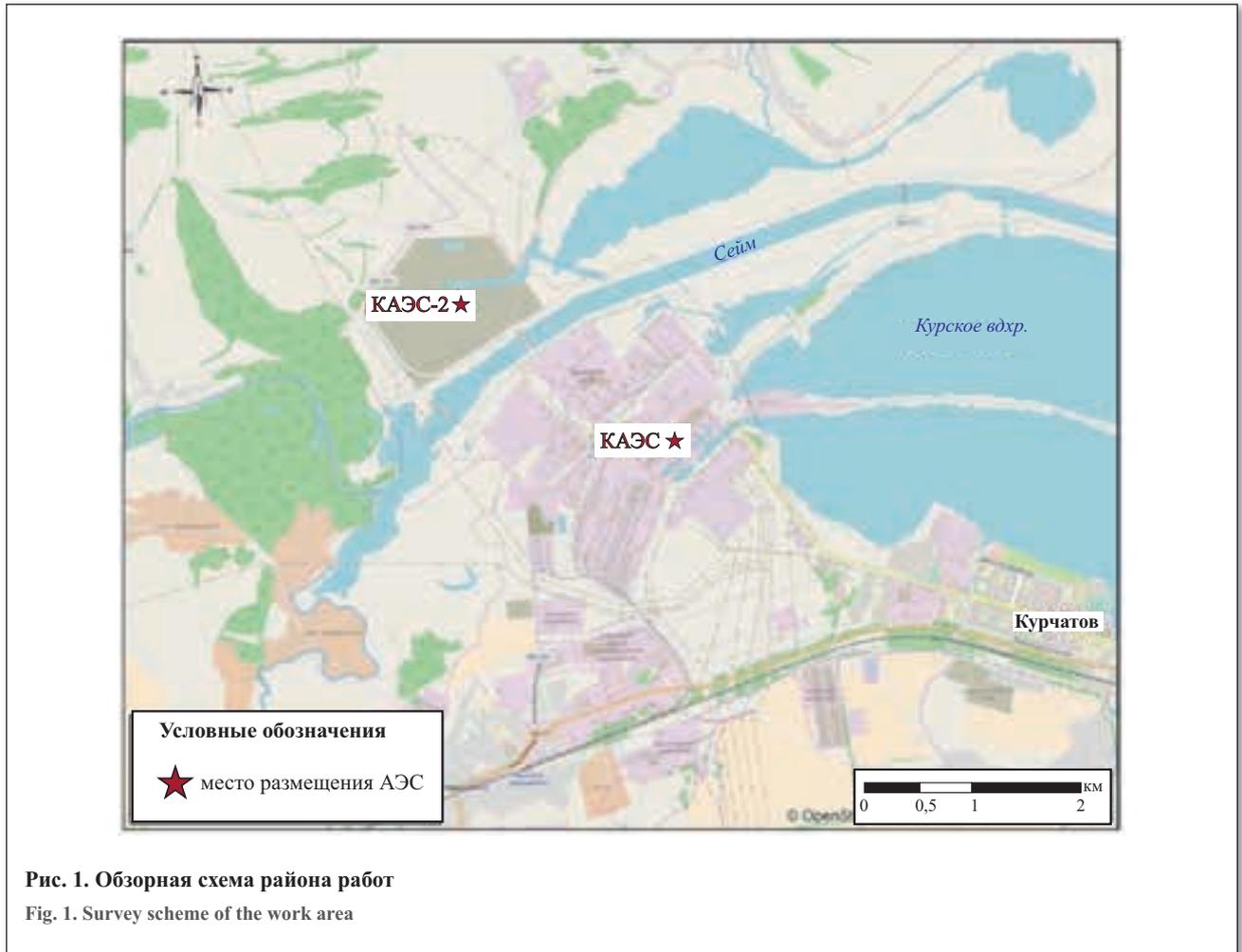


Рис. 1. Обзорная схема района работ

Fig. 1. Survey scheme of the work area

геохимических). Все эти работы были выполнены на промплощадке Курской АЭС-2 (КАЭС-2). Тем не менее вопрос о карстоопасности территории и промплощадки остается спорным, до конца невыясненным. Поэтому поиск новых методик, критериев, индикаторов карстоопасности является весьма актуальной задачей.

С этой точки зрения перспективным направлением, на наш взгляд, является проведение массовых минералого-петрографических исследований, которое не требует больших затрат, средств и времени, сложного оборудования.

Целью данной работы является получение фактического материала о литологическом составе и состоянии меловой толщи на площадке размещения Курской АЭС-2, покрывающих и подстилающих отложений, их затронутости карстовым процессом с оценкой карстовой опасности.

Основными задачами работы являются:

- макроскопическое (визуальное) изучение образцов горных пород и отбор их на минералого-петрографический анализ;
- детальное изучение минерального состава пород в шлифах и их структурно-текстурных особенностей с помощью поляризационного микроскопа;
- определение минерального состава горных пород с помощью рентгенофазового анализа;
- изучение химического состава горных пород рентгеноспектральным методом;
- выявление закономерностей в распределении Sr в меловой толще с целью оценки и прогнозирования зон активного выщелачивания.

По существующей гипотезе [8] в местах активного выщелачивания пород (зонах карста) количество Sr резко снижается, практически до нуля. Пока это подмечено только для сульфатных пород. Sr является постоянным спутником кальция. Он всегда накапливается и присутствует в известняках, доломитах, мелах, гипсах и ангидритах, т.е. во всех кальциево-содержащих породах.

В настоящей работе представлены результаты минералого-петрографических исследований образцов карстовых меловых пород, покрывающих и подстилающих отложений, отобранных на промплощадке КАЭС-2.

Методика минералого-петрографических исследований при инженерно-геологических изысканиях на площадке размещения Курской АЭС-2

Во время буровых работ ведется полевое описание керна скважин. В камеральных условиях из образцов, отобранных на минералого-петрографический анализ, вырезается алмазной пилой пластина толщиной 2 мм для изготовления прозрачного или прозрачно-полированного шлифа. Из двух обрезков образца выбираются: первый — на рентгеноспектральный анализ на приборе РеСПЕКТ (Россия) и второй — на рентгенофазовый анализ на дифрактометре ARLX'TRA (Швейцария).

Изучение прозрачного и прозрачно-полированного шлифов проводится с использованием поляризационного микроскопа (фирмы Zeiss). Рентгеноспектральный анализ проводится на рентгенофлуоресцентном приборе РеСПЕКТ. В камере этого прибора регистрируются элементы Менделеевской системы, начиная с калия до урана с одновре-

менным определением количественного состава вещества в весовых процентах для каждого элемента. Типичный диапазон определяемых содержаний элементов для прибора РеСПЕКТ составляет от $n \cdot 0,0001\%$ до 100%. Применение способов концентрирования позволяет в ряде случаев понизить предел определения еще на два порядка.

Для уточнения минерального состава горных пород применяется рентгенофазовый анализ с помощью дифрактометра ARLX'TRA.

Метод основан на исследовании дифракции рентгеновского излучения на поликристаллических образцах и расшифровке полученных данных — дифрактограмм и обладает рядом преимуществ при определении минерального состава горных пород.

Преимущества метода:

- анализ твердых, жидких и порошковых материалов;
- определение и уточнение структуры кристаллов;
- определение типа и процентного содержания глинистых минералов без предварительной обработки проб (прокалывание, насыщение глицерином и т.д.).

Характеристика меловой толщи в пределах промплощадки КАЭС-2

В административном отношении участок работ расположен в Курчатовском муниципальном районе Курской области (рис. 1).

Территория находится на юго-западном склоне Среднерусской возвышенности и относится к сильно расчлененной пологоволнистой неоген-четвертичной эрозионно-денудационной равнине, занимающей водораздел рек Сейм и Прутище. Абсолютные отметки местности от 142,0 м до 150,0 м.

На промплощадке КАЭС-2 были пробурены скважины глубиной до 50 м (рис. 2), которые вскрыли стратиграфический разрез в объеме сантонского, туронского и сеноманского ярусов верхнего мела и перекрывающих их четвертичных отложений (рис. 3).

С литологических позиций в меловой толще выделяются 3 пачки:

- верхняя (сантонский ярус K_2st) — глина мергелистая с прослоями песчаника;
- средняя (туронский ярус K_2t) — меловая пачка;
- нижняя (сеноманский ярус K_2s) — фосфорито-песчаная пачка.

Отложения туронского яруса (K_2t) по визуальному описанию можно разделить на два горизонта:

- *верхний*, мощностью от 10 м (скв. 9П) до 18 м (скв. 2П), представленный писчим мелом белым пластичным с прослоями до 20–30 см мела твердого;
- *нижний*, мощностью от 1 м (скв. 3П; 5П) до 2,6 м (скв. 9П), представленный песчано-меловой вязко-пластичной пастой от светло-серого до светло-зеленого цвета.

Наиболее яркой особенностью карстующейся толщи является абсолютное доминирование в ее составе отложений, известных как «писчий мел». По определению А.И. Иванова⁴ — это белая, рыхлая, легко пачкающая тонкопористая порода с высоким содержанием карбоната кальция и обладающая способностью писать. Занимая грандиозные пространства, от Поволжья до Англии, мел стал объектом внимания ведущих зарубежных и отечественных геологов еще в конце XIX века. Классическими



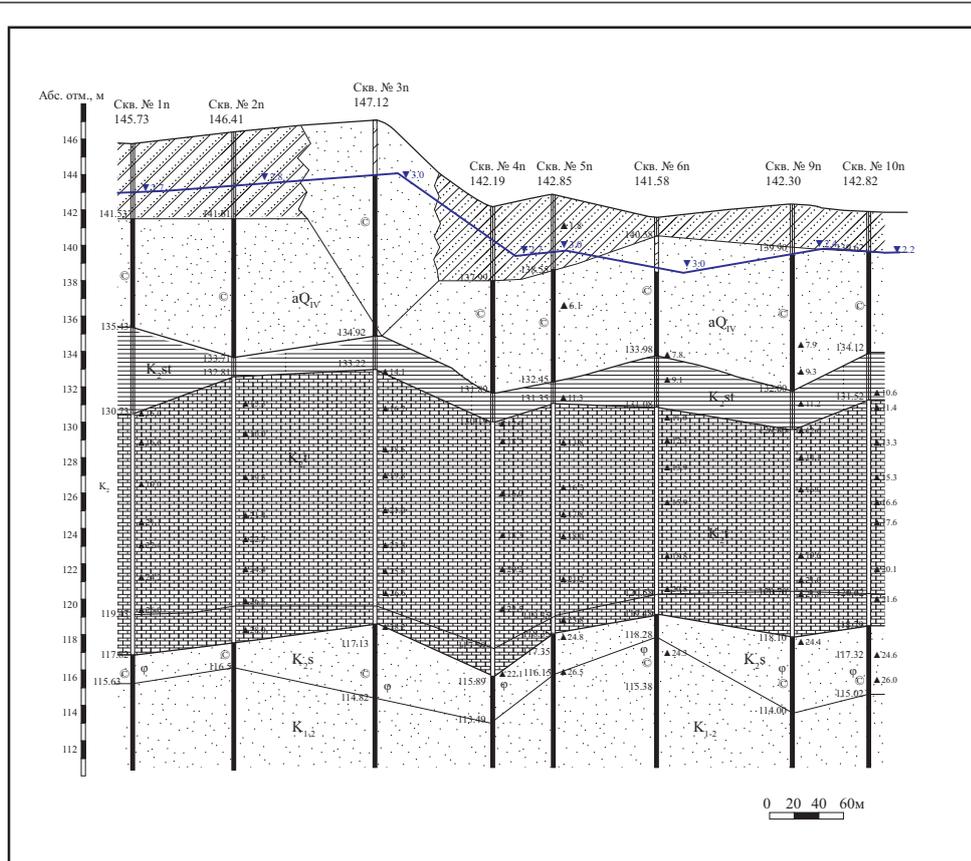
исследованиями по меловой проблематике являются работы П.Н. Чирвинского [14], А.Д. Архангельского [1], Н.С. Шатского [15], Г.И. Бушинского [4, 5], Д.А. Дмитриева [6], В.А. Мощанского [10], О.В. Савчинской [13], А.Д. Савко [12], С.И. Шумейко [16], М. Hancock [18], I.W. Morse [19], V.P. Wright [20] и др.

Мел представляет собой тонкозернистую разновидность карбонатных пород, сложенную, главным образом, кальцитовыми скелетными частицами микроорганизмов известковых водорослей — кокколитофорид (10–90%) и корненожек фораминифер (1–20%). Одним из итогов всех выполненных работ стало понимание, что несмотря на внешнюю однородность меловых пород, существует целый ряд их разновидностей. Они отличаются не только вещественным составом, но и физико-механическими свойствами, а также способностью к активизации карстового процесса.

Очевидно, в этом плане значительная роль принадлежит глинистому веществу, количество которого учитывается при выделении разновидностей меловых пород. Одним из наиболее удачных вариантов их деления стала классификация Г.И. Бушинского [4] (табл. 1). Заложенные в ней принципы лежат в основе современных как петрографических систематик, так и используемых в производстве технических (по ГОСТ) марок мела.

Вместе с тем практика инженерно-геологических работ показывает, что несмотря на двухвековой период изучения

⁴ Иванов А.И., 1946. Справочник для геологов. Мел. Госгеолиздат, Ленинград.



Условные обозначения

I. Четвертичные отложения (Q)		Влажность и консистенция грунтов	
aQ _{IV} {	Суглинок сильнопесчаный	песчаных	глинистых
	Песок средней крупности	маловлажные	твердые
II. Меловые отложения (K)			полутвердые
K _{2st}	Глина мергелистая с прослоями песчаника	влажные	тугопластичные
K _{2t}	Мел		пластичные (для супеси)
K _{2s}	Песок средней крупности, включением конкреций фосфоритов		мягкопластичные
K ₁₋₂	Песок средней крупности	насыщенные водой	текучепластичные
III. Прочие обозначения			текучие
▲	Место отбора пробы грунта		
—	Граница стратиграфического подразделения		
—	Граница литологического слоя		
▼ 1.20	Установившийся уровень подземных вод, число - глубина в м		

Рис. 3. Инженерно-геологический разрез по линии I-I (расположение разреза — см. рис. 2)

Fig. 3. Engineering-geological cross-section along the line I-I (location of the section — see Fig. 2)

мела, все еще остаются неясными процессы, сформировавшие его своеобразные физико-механические свойства. Это, в свою очередь, крайне затрудняет оценку территорий, предназначенных для строительства гражданских и промышленных сооружений. По этой причине может представлять интерес выявление на локальных (10–15 км²) площадях изменчивости минералого-петрографических и механических характеристик меловых пород по разрезу и простиранию.

Такая возможность предоставилась при инженерно-геологических изысканиях на промплощадке КАЭС-2. Детальное изучение минерального состава пород в шлифах с помощью поляризационного микроскопа было выполнено авторами на 200 образцах. Минералого-петрографиче-

ские исследования были проведены на образцах, отобранных на площадке строящейся АЭС под энергоблок 1, скв. №№ 1П–10П (см. рис. 2) и энергоблок 2, скв. №№ 11П–20П. В статье рассмотрены результаты исследований образцов из скважин, пробуренных под энергоблок № 1.

Минералого-петрографическая характеристика образцов горных пород из скважин на промплощадке КАЭС-2

Для уточнения визуального описания пород рассмотрены и проанализированы результаты минералого-петрографических исследований наиболее характерных образцов из скв 6П (сверху–вниз по разрезу).

Таблица 1
Table 1Классификация мергелисто-меловых пород [4]
Classification of marly-chalk rocks [4]

Порода	Содержание, %	
	CaCO ₃	Глина
Мел чистый	> 95	< 5
Мел глинистый	90–95	5–10
Мергель мелоподобный	80–90	10–20
Мергель слабо глинистый	75–80	20–25
Мергель глинистый	65–75	25–35
Мергель сильно глинистый	30–65	35–70
Глина известковистая	5–30	70–95

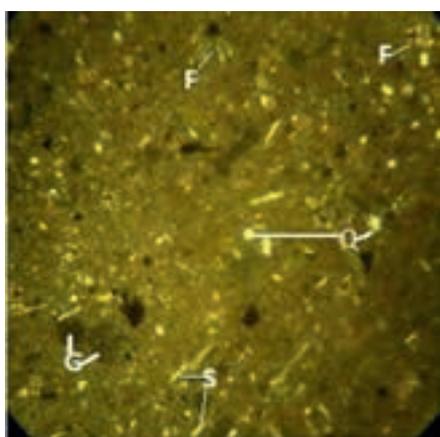


Рис. 4. Глина известково-гидрослюдистая, скв. 6П, глубина отбора 7,8–7,9 м: Q — кварц; G — глауконит; S — чешуйки слюд; F — остатки фораминифер (микрофотография шлифа, николи // — параллельны, увеличение 35x)

Fig. 4. Calcareous-hydromicaceous clay, 6P BH, 7.8–7.9 m depth of sampling: Q — quartz; G — glauconite; S — mica flakes; F — foraminifera remains (section photomicrograph, nicols // — parallel, 35x magnification)

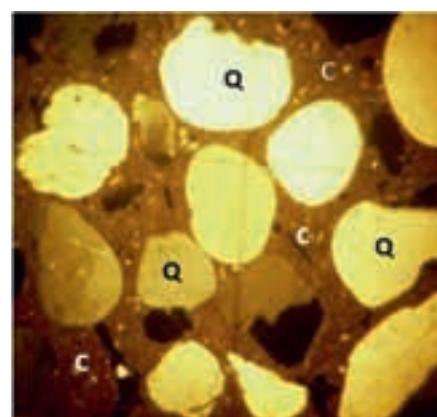


Рис. 5. Песчаник кварцевый, скв. 6П, глубина отбора 9,5–9,6 м: Q — кварц; C — цемент (микрофотография шлифа, николи + — скрещены, увеличение 35x)

Fig. 5. Quartz sandstone, 6P BH, 9.5–9.6 m depth of sampling: Q — quartz; C — cement (thin section photomicrograph, nicols + — crossed, 35x magnification)

Сантонский ярус K_{2st}

Макро- и микроскопическая характеристика образца 1, скв. 6П, глубина отбора 7,8–7,9 м

Глина известково-гидрослюдистая, зеленовато-серая, слабopластичная, легко размокающая в воде. Сложена изотропным глинистым веществом, густо насыщенным пелитоморфным кальцитом. Включает большую примесь песчаного и алевритового кварцевого материала (20–25%). Помимо этого, в породе часто встречаются остатки мелких фораминифер, тонкий детрит двустворок и водорослевые густки кальцита. Намного реже отмечается глауконит, а иногда попадаются обрывки обуглившейся либо пиритизированной растительной ткани. Песчаный материал в основном собран в прерывистых слоях, а алевритовые зерна равномерно распределены по всей породе (рис. 4).

Макро- и микроскопическая характеристика образца 2, скв. 6П, глубина отбора 9,5–9,6 м

Песчаник кварцевый, слабо сцементированный, светло-зеленовато-серый, в основном грубо-крупнозернистый.

Состоит из хорошо окатанных зерен кварца (60%), а также единичных полевых шпатов и обломков кварцитов. Цемент известково-глинистый (30–35%) порового и базального типа включает чешуйки мусковита, редкие раковины фораминифер и единичные призмочки иноцерармов.

Макро- и микроскопическая характеристика образца 3, скв. 6П, глубина отбора 10,4–10,5 м

Базальный горизонт верхней пачки. Глина обломочная, алевритовая (15%), преимущественно известково-гидрослюдистого состава, зеленовато-коричневая с линзочками, гнездами крупного песка и мелкого гравия из кварца, кварцитов, фосфоритовых конкреций, ожелезненного мела и глиняных катунов. В цементирующей их массе постоянно присутствуют раковины одно- и многокамерных фораминифер, призмочки иноцерармов, редкие зерна глауконита и разноориентированные чешуйки слюд. Для глиняных катунов характерны остатки радиоларий, а для фосфоритовых конкреций — песчаная примесь кварца. Дополняют рисунок породы извилистые ходы илоедов, заполненные пелитоморфным кальцитом.

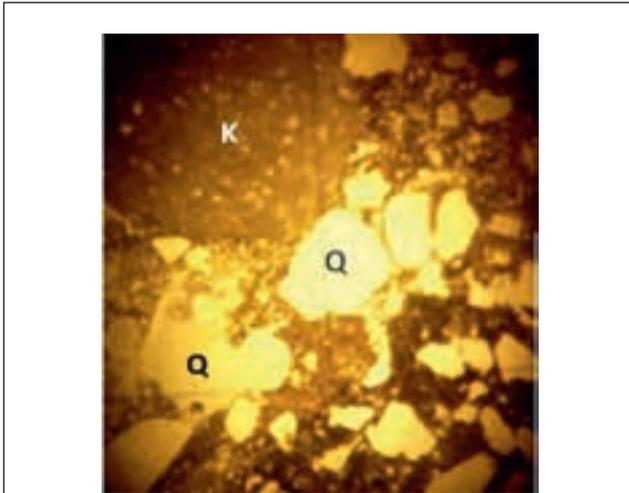


Рис. 6. Глина известково-гидрослюдистая, скв. 6П, глубина отбора 10,4–10,5 м: Q — кварц; K — окатанный обломок глины («катун») (микрофотография шлифа, николи + — скрещены, увеличение 35х)

Fig. 6. Calcareous- hydromicaceous clay, 6P BH, 10.4–10.5 m depth of sampling: Q - quartz; K — rounded fragment of clay («clay ball») (thin section photomicrograph, nicols + — crossed, 35x magnification)

Туронский ярус K₂t

Макро- и микроскопическая характеристика образца 4, скв. 6П, глубина отбора 11,0–11,1 м

Писчий мел белый, «жирный» на ощупь, сложен на 90–95% из субмикроскопического (< 0,005 мм) (порошковатого) кальцита, который в шлифах с трудом пропускает свет. Остальная часть породы (5–10%) состоит из раковин фораминифер, кальцитовых призм иноцерамов, тонкого детрита створок мелких пелиципод. Чаще всего встречаются остатки иноцерамов и фораминифер. Последние представлены в основном глобигеринами, роталиидами, орбикулинами. Иногда (< 1%) попадаются раковины с пустотелыми камерами, что указывает на слабо проявленные в породе процессы растворения. Из-за деятельности илоедов микротекстура породы комковато-пятнистая, местами ее строе-

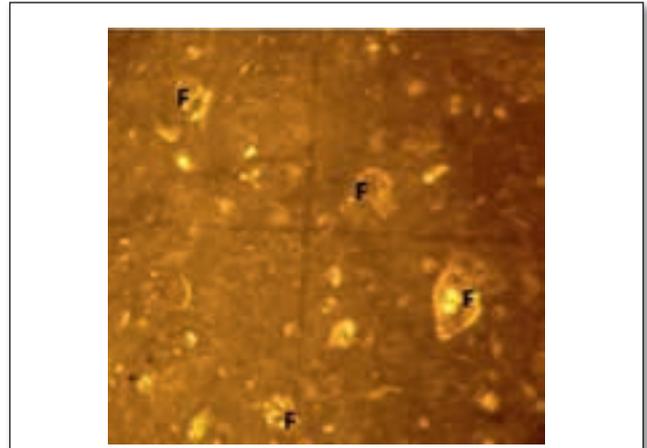


Рис. 7. Писчий мел, скв. 6П, глубина отбора 11,0–11,1 м: F — остатки фораминифер (микрофотография шлифа, николи // — параллельны, увеличение 100х)

Fig. 7. Writing chalk, 6P BH, 11.0–11.1 m depth of sampling: F — foraminifera remains (thin section photomicrograph, nicols // — parallel, 100x magnification)

ние подчеркивается скоплениями органических остатков. В воде мел в течение пяти минут размокает на составные части, превращаясь в песчано-пелитоморфную жидкую массу. По данным ситового анализа, в ее составе доля частиц размером > 0,05 мм составляет 12%. Большая часть крупного материала представлена плохо размокаемыми зернами — комками размером 2–7 мм (рис. 7).

Результаты рентгенофазового анализа показали наличие в образце следующих минералов: кальцита, альбита, ортоклаза, кварца (рис. 8).

Результаты рентгеноспектрального анализа представлены на рис. 9. Этот анализ показал высокое содержание Ca и Sr в писчем меле.

Макро- и микроскопическая характеристика образца 5, скв. 6П, глубина отбора 19,0–19,1 м

Мел глинистый (мергелистый) от белого до светло-серого цвета, хотя и пачкает руки, но пальцами растирается

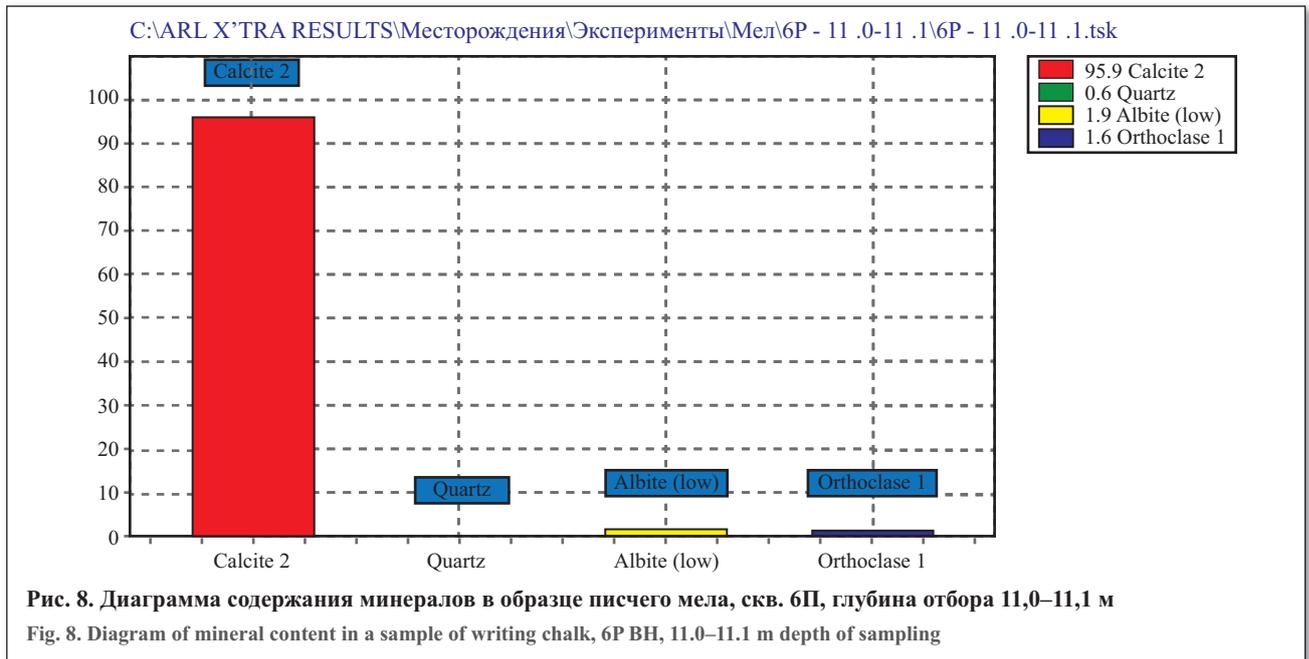
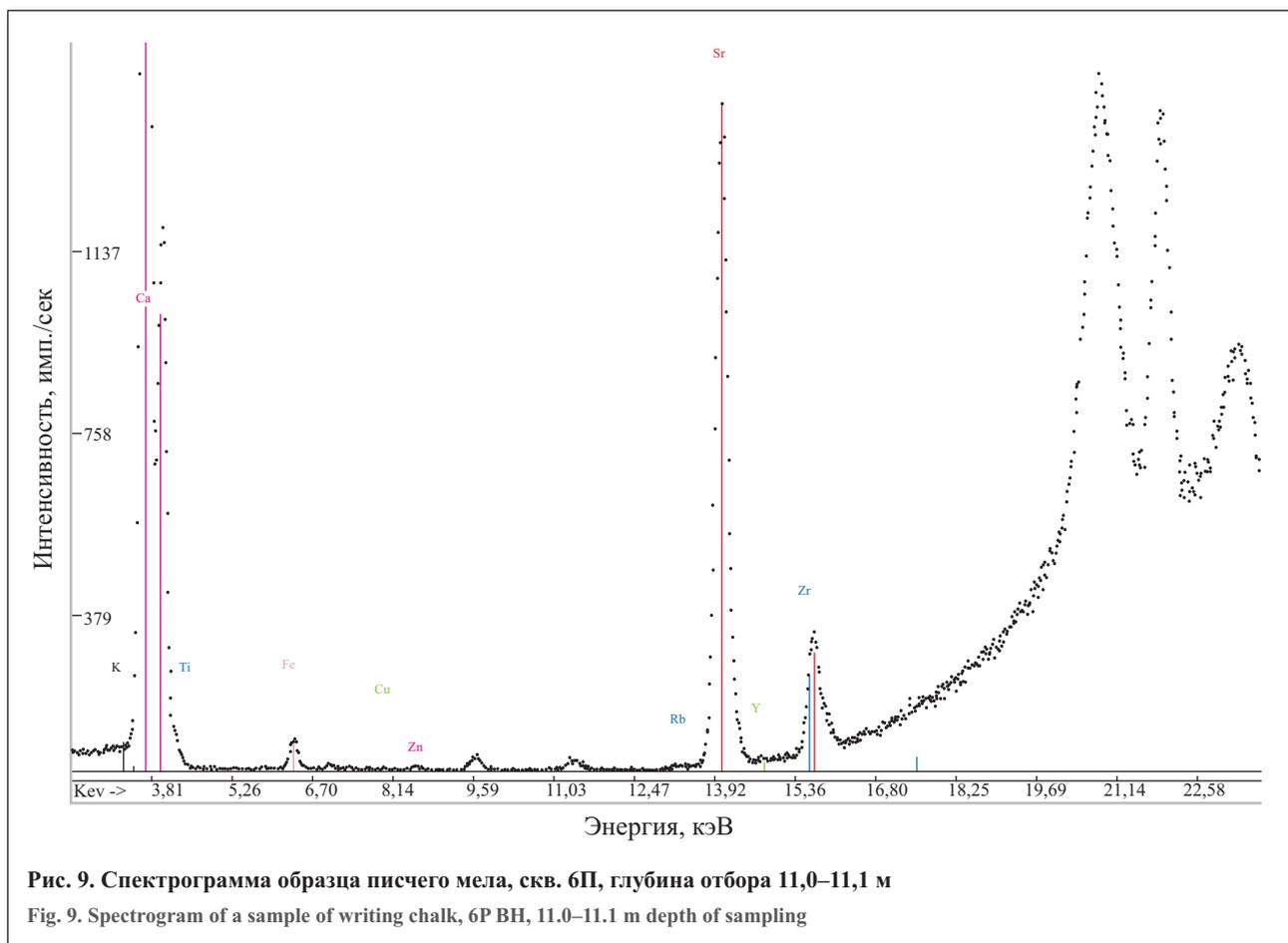


Рис. 8. Диаграмма содержания минералов в образце писчего мела, скв. 6П, глубина отбора 11,0–11,1 м

Fig. 8. Diagram of mineral content in a sample of writing chalk, 6P BH, 11.0–11.1 m depth of sampling



с большим трудом и в воде не размокает; «шершавый» на ощупь и обладает ступенчатым неровным изломом. В шлифах видно, что мел преимущественно состоит из целых и раздробленных призм иноцерамов размером до 0,25 мм, и поэтому его можно называть иноцерамовым (45%). Подчиненно встречаются фораминиферы и тонкий детрит двустворок (15%). Цементирующий их пелитоморфный кальцит (40%) по сравнению с вышеописанными шлифами более хорошо раскристаллизован и состоит из частичек размером 0,005–0,01 мм (рис. 10). Вместе с ними постоянно отмечаются дисперсные чешуйки слюд и глинистых минералов, примесь которых, очевидно, указывает на близкий источник сноса обломочного терригенного материала. Об этом же свидетельствует присутствие, хотя и редких (< 1%), но крупных (0,25–1 мм) песчинок кварца, полевого шпата и кварцитовых обломков. Проведенное растворение мела в соляной кислоте показало, что на долю нерастворимого остатка в породе приходится 6,9% (см. рис. 10).

Результаты рентгенофазового анализа показали наличие в образце мела глинистого следующих минералов: кальцита, полевых шпатов (альбита, ортоклаза), кварца, циркона (рис. 11).

Результаты рентгеноспектрального анализа мела глинистого представлены на рис. 12. Анализ показал высокое содержание Ca и Sr.

Макро- и микроскопическая характеристика образца 6, скв. 6П, глубина отбора 21,2–21,3 м

Мел песчанистый, от выше описанного образца отличается большим количеством песчаного материала, содержание которого достигает 20–25%. В специальной ли-

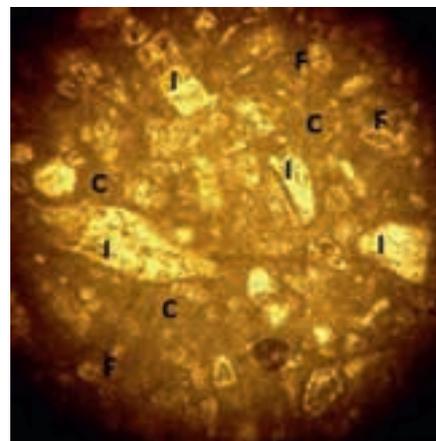


Рис. 10. Мел глинистый, скв. 6П, глубина отбора 19,0–19,1 м: I — призмы иноцерамов, F — остатки фораминифер, C — цемент (микрофотография шлифа, николи // — параллельны, увеличение 100x)

Fig. 10. Clayey chalk, 6P BH, 19.0–19.1 m depth of sampling: I — inoceramus prisms, F — foraminifera remains, C — cement (thin section photomicrograph, nicols // — parallel, 100x magnification)

тературе за такой породой закрепилось название «сурка» [1, 4]. В шлифе обломочные зерна неравномерно распределяются по площади. В основном они кварцевые, слабо окатанные; иногда полевошпатовые, либо представлены риолитовыми порфирами и кварцитами. Из новых минеральных образований отмечаются редкие выделения глауконита, а также фосфата в виде микроконкреций и костных остатков рыб (рис. 13).

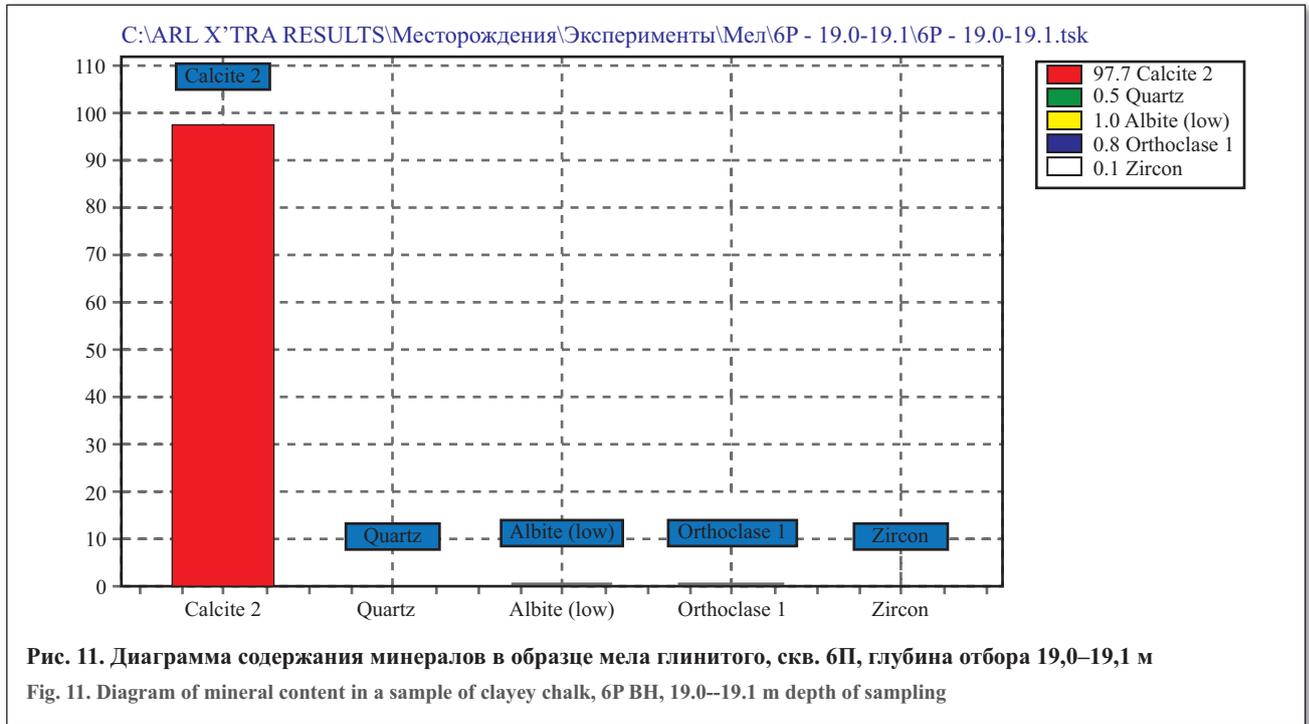


Рис. 11. Диаграмма содержания минералов в образце мела глинистого, скв. 6П, глубина отбора 19,0–19,1 м
 Fig. 11. Diagram of mineral content in a sample of clayey chalk, 6P BH, 19.0–19.1 m depth of sampling

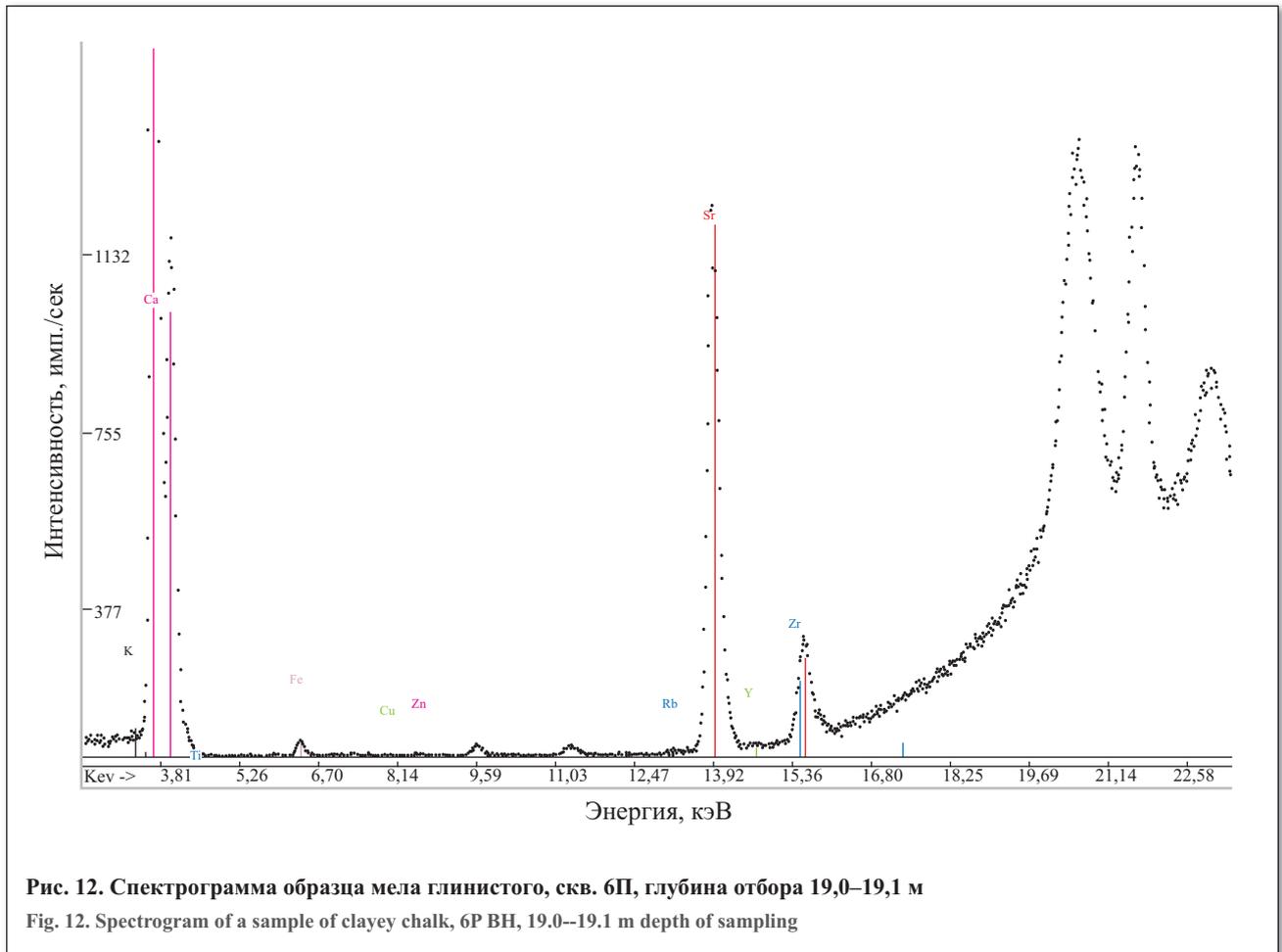


Рис. 12. Спектрограмма образца мела глинистого, скв. 6П, глубина отбора 19,0–19,1 м
 Fig. 12. Spectrogram of a sample of clayey chalk, 6P BH, 19.0–19.1 m depth of sampling

Результаты рентгенофазового анализа показали наличие в образце следующих минералов: кальцита, кварца, полевых шпатов (альбит, ортоклаз), апатитов, сидерита, андрадита (рис. 14).

Результаты рентгеноспектрального анализа представлены на рис. 15. Анализ мела песчанистого показал повышенное содержание Ca и Sr.

Сеноманский ярус K_2s

Макро- и микроскопическая характеристика образца 7, скв. 6П, глубина отбора 24,2–24,3 м

Песок или слабо сцементированный кварцевый песчаник зеленовато-серого цвета, неравномерно-зернистый, преимущественно мелко-среднезернистый, с кальцито-глинистым, железистым, пятнами кальцито-

вым пелитоморфным цементом порового типа (13–15%). Сложен в основном угловатыми и остроугольными кварцевыми зернами размером 0,1–1,5 мм. Примеси представлены полевыми шпатами (альбит, ортоклаз), а также округлыми выделениями глауконита и фосфата (рис. 16).

Результаты рентгенофазового анализа показали наличие в образце следующих минералов: кварца, кальцита, иллита, полевых шпатов (альбит, ортоклаз), апатита, мусковита (рис. 17).

Результаты рентгеноспектрального анализа показали низкое содержание Са и Sr в кварцевом песке (рис. 18).

Результаты рентгеноспектрального анализа в скважинах 1П–6П, 9П–10П, 13П приведены в табл. 2.

Обсуждение результатов

По данным петрографических исследований, сантонский ярус (K_2st) представлен мергелистыми глинами (известково-гидролюдистыми) с прослойками слабосцементированного кварцевого песчаника (см. рис. 4–6). По результатам определения физических свойств, эта глина тугопластичная и является водоупором между четвертичным и туронским водоносными горизонтами.

По данным минералого-петрографических исследований в разрезе туронского яруса четко выделяются три горизонта: верхний — писчий мел, мощностью 5,0–7,0 м; средний — иноцерамовый мел, мощностью 5–6 м; нижний — песчаный мел («сурка»), мощностью от 1,0 до 2,6 м.

Для уточнения минерального состава горных пород применялся рентгенофазовый анализ с помощью дифрактометра ARLX'TRA.

Писчий мел сложен на 90–98% субмикроскопическим (< 0,005 мм) кальцитом, который в шлифах практически не пропускает свет. Иноцерамовый мел преимущественно (до 45%) состоит из целых и раздробленных призм иноцерамов размером до 0,25 мм. Подчиненно встре-

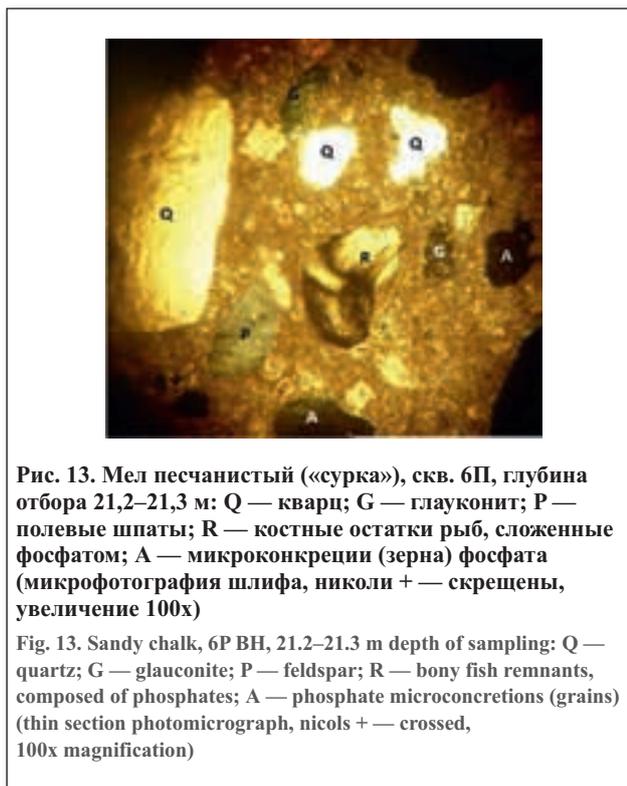
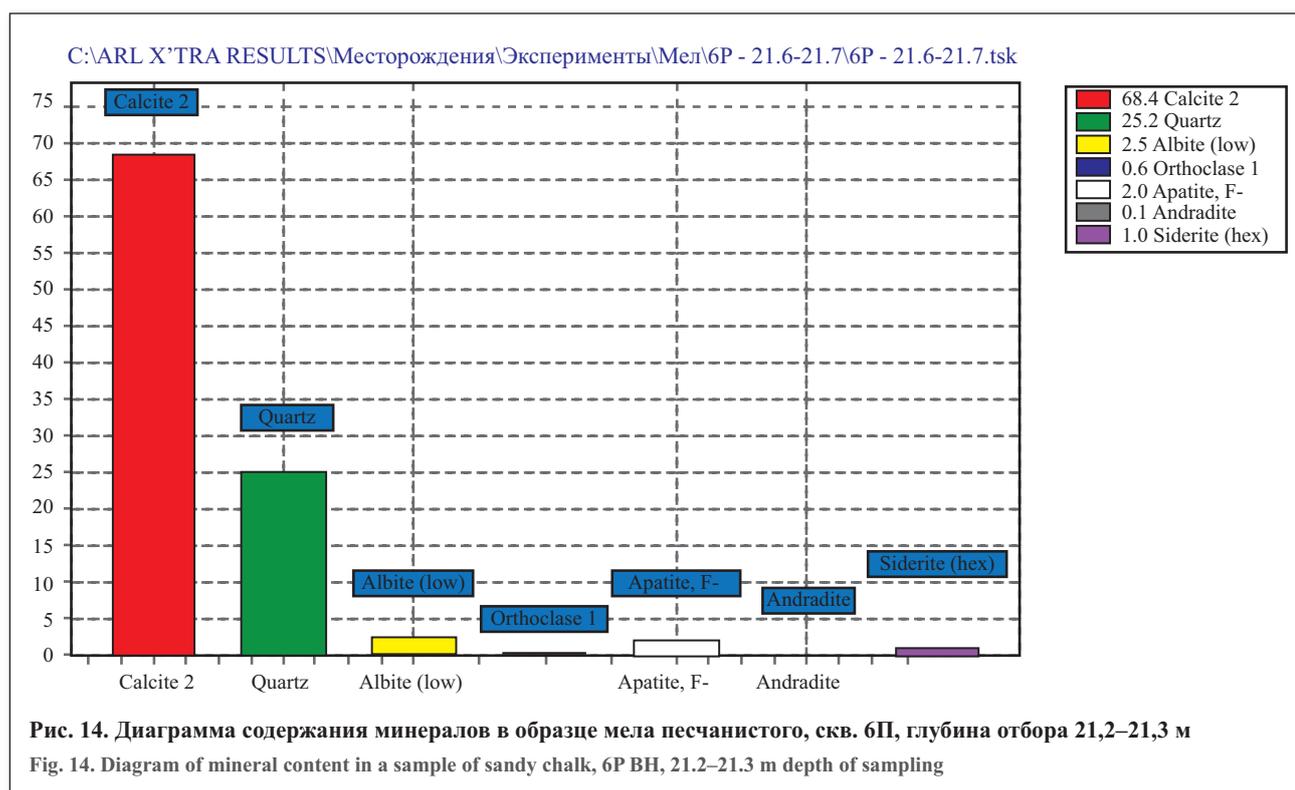


Рис. 13. Мел песчаный («сурка»), скв. 6П, глубина отбора 21,2–21,3 м: Q — кварц; G — глауконит; P — полевые шпаты; R — костные остатки рыб, сложенные фосфатом; A — микроконкреции (зерна) фосфата (микрофотография шлифа, николи + — скрещены, увеличение 100х)

Fig. 13. Sandy chalk, 6P BH, 21.2–21.3 m depth of sampling: Q — quartz; G — glauconite; P — feldspar; R — bony fish remnants, composed of phosphates; A — phosphate microconcretions (grains) (thin section photomicrograph, nicols + — crossed, 100x magnification)

чаются фораминиферы и тонкий детрит двустворок (15%). Цементирующий их пелитоморфный кальцит (40%) по сравнению с вышеописанными образцами более хорошо раскристаллизован и состоит из частичек размером 0,005–0,01 мм. Общее количество минерала кальцита — 90–97%, остальное — глинистые минералы, полевые шпаты, кварц и др. Песчаный мел («сурка») состоит на 65–70% из кальцита и кварцевых песчинок (25–30%).

С учетом того, что на промплощадке на глубине 11,0–30,0 м залегают растворимые карбонатные поро-



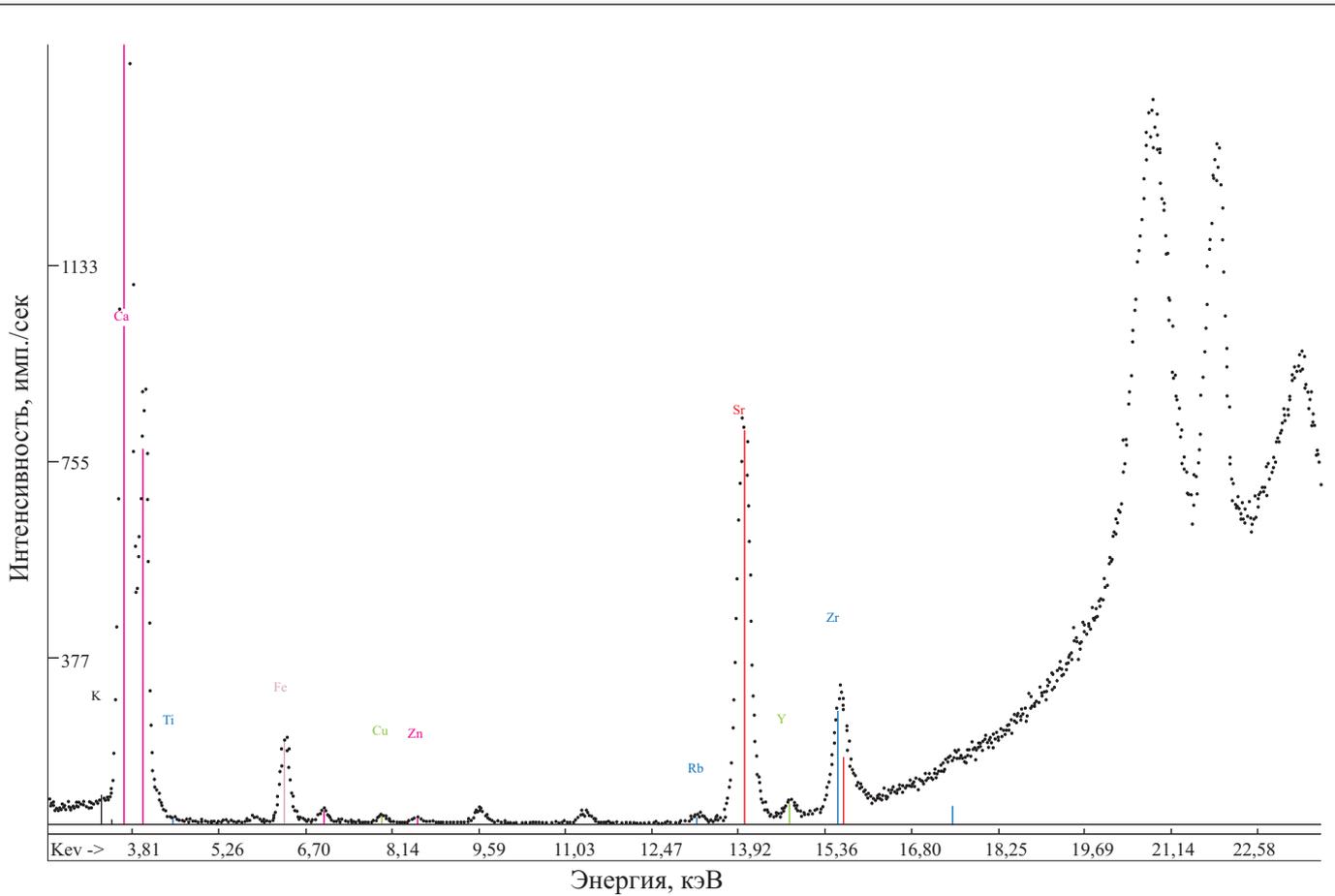


Рис. 15. Спектрограмма образца мела песчанистого, скв. 6П, глубина 21,2–21,3 м
 Fig. 15. Spectrogram of a sample of sandy chalk, 6P BH, 21.2–21.3 m depth of sampling

ды (мел), выполнены оценка и прогноз активизации карста. Были проведены все виды необходимых полевых и камеральных исследований (геоморфологические, геофизические, гидрогеологические, гидрогеохимические и др.), в том числе специальная съемка поверхностных карстопроявлений, которые показали отсутствие карстовых и карстово-суффозионных форм (воронки и провалы) на промплощадке и прилегающей территории площадью 300 км². Подземные формы карста и участки повышенной трещиноватости меловых отложений при инженерно-геологическом бурении и по данным геофизических исследований также не зафиксированы. По результатам петрографического описания шлифов, повышенного содержания микропор, пор и трещиноватости не обнаружено. Опытные гидрогеологические работы показали, что коэффициент фильтрации (K_f) меловых отложений туронского яруса изменяется от 0,2 до 1,5 м/сут, следовательно толща слабопроницаемая. Однако, в скв. № 308 K_f меловых отложений оказался 27,5 м/сут по результатам опытной одиночной откачки, что соответствует параметру трещинно-карстового водоносного горизонта. Для получения объективного коэффициента фильтрации в месте расположения скв. № 308 следует провести кустовую откачку.

Для подтверждения гипотезы о том, что стронций является критерием активизации карста в растворимых горных породах, была выполнена работа по массовому опре-

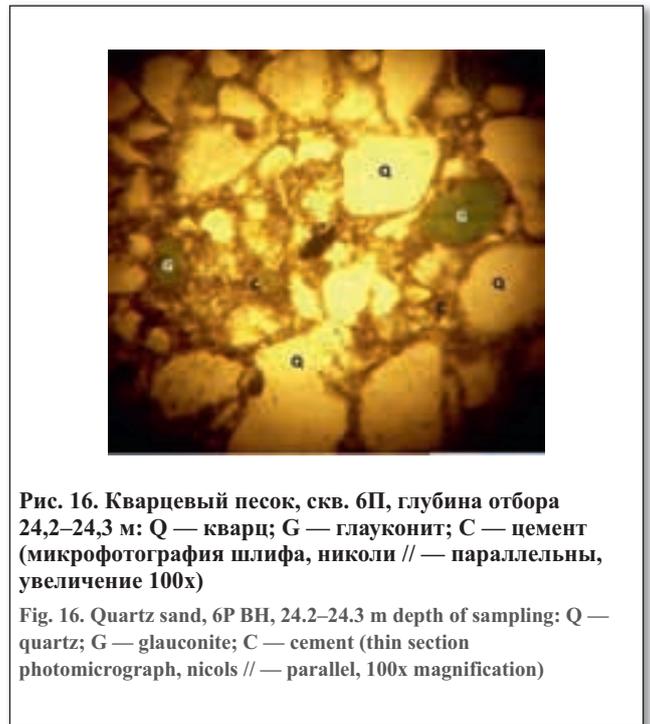
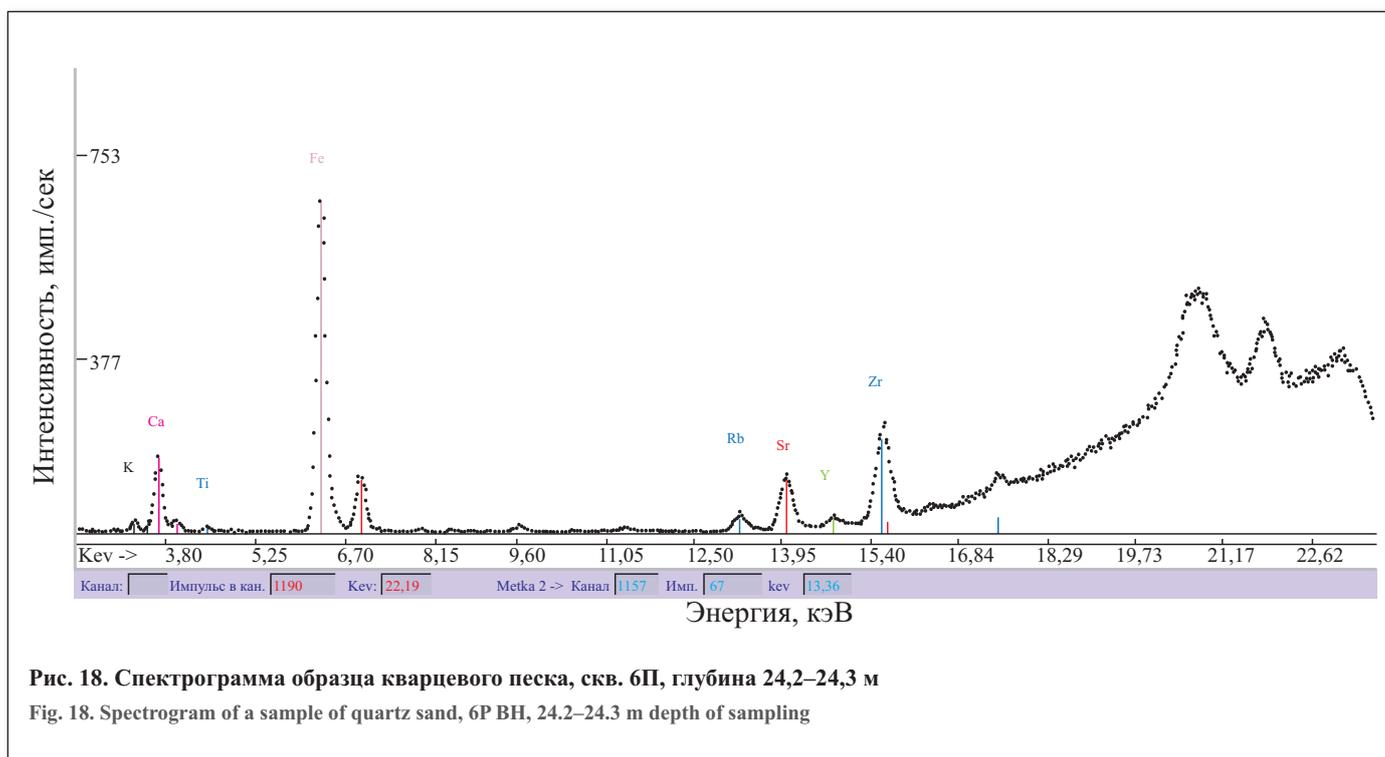
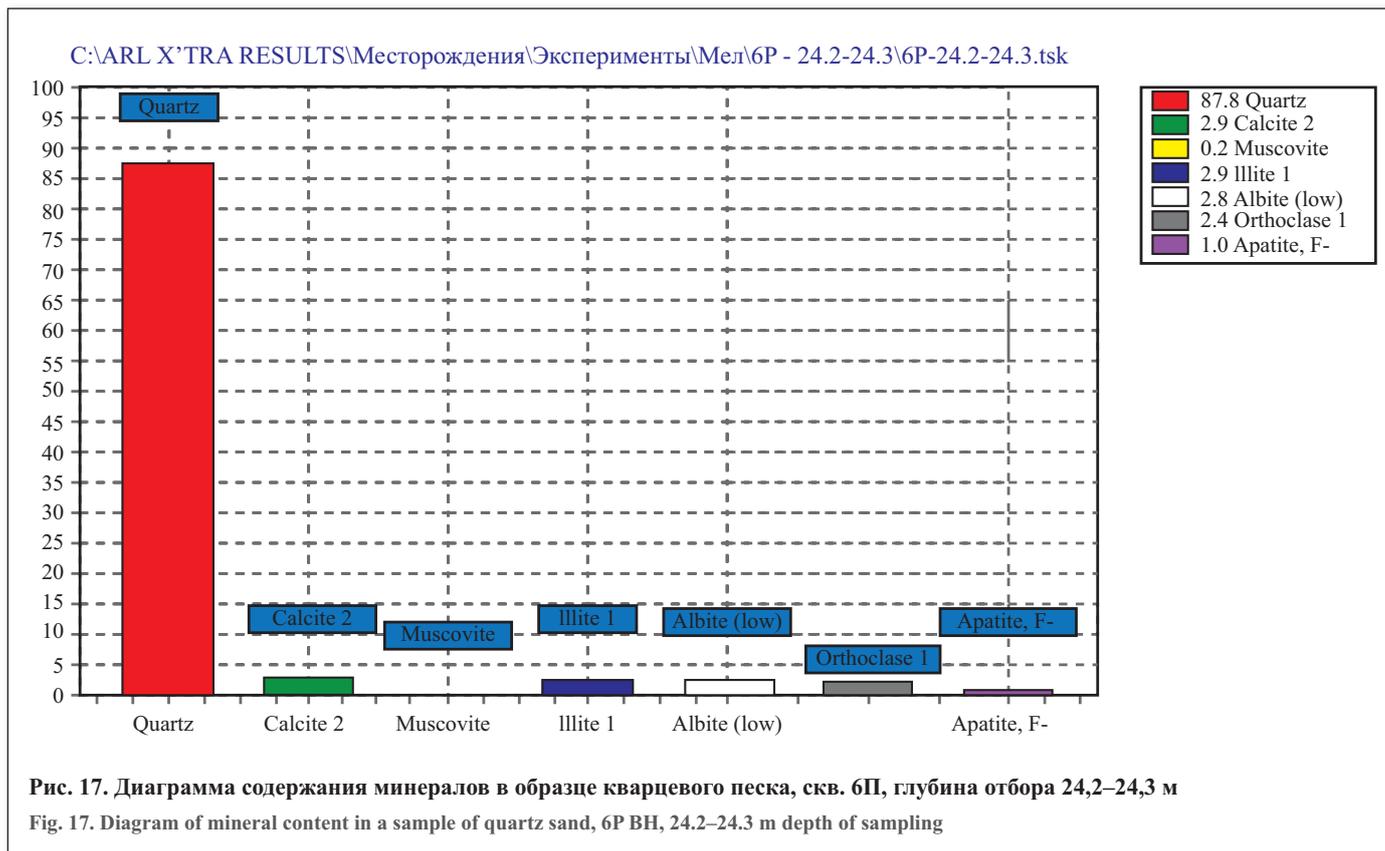


Рис. 16. Кварцевый песок, скв. 6П, глубина отбора 24,2–24,3 м: Q — кварц; G — глауконит; C — цемент (микрофотография шлифа, николи // — параллельны, увеличение 100х)
 Fig. 16. Quartz sand, 6P BH, 24.2–24.3 m depth of sampling: Q — quartz; G — glauconite; C — cement (thin section photomicrograph, nicols // — parallel, 100x magnification)

делению содержания стронция в образцах исследуемых пород. Стронциево-содержащие минералы не были выявлены по данным описания пород в шлифах и по резуль-



татам рентгенофазового анализа ввиду их малого количества. По результатам оценки химического состава исследуемых горных пород с помощью рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (124 образца) было выявлено, что для всех образцов мела, наряду с высоким содержанием кальция (от 20 до 40%), регистрируется относительно высокое содержание стронция (от 0,013 до 0,071% — см. табл. 2). Стронций является геохимическим аналогом кальция и постоянным трассером кальция. Он всегда присутствует в относительно больших количествах в извест-

няках, меловых породах, гипсах, ангидритах, магнезитах, т.е. во всех кальциево-содержащих породах.

В образцах, где кальций отсутствует, содержание стронция равно нулю. По существующей гипотезе в местах активного выщелачивания пород количество стронция резко падает, практически до нуля. Во всех исследуемых образцах мела фиксируется относительно высокое содержание стронция, т.е. по этому показателю зоны активного выщелачивания мела на изучаемой территории отсутствуют.

Результаты рентгеноспектрального анализа Results of X-ray spectral analysis										
Интервал отбора образцов	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr
	Содержание элементов (%) в образцах скв. 1П									
15,2–15,3 м	< 0,01	36,34	< 0,001	0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0228	< 0,0001	0,0011
22,6–22,7 м	< 0,01	34,19	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0238	0,0002	0,0016
27,9–28,0 м	< 0,01	32,20	< 0,001	0,020	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0282	0,0013	0,0018
24,4–24,5 м	< 0,01	40,10	< 0,001	0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0206	0,0004	0,0008
27,9–28,0 м	< 0,01	20,39	< 0,001	0,066	0,015	0,008	0,0002	0,0129	0,0003	0,0016
Содержание элементов (%) в образцах скв. 2П										
15,3–15,4 м	< 0,01	34,44	< 0,001	0,008	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0280	0,0001	0,0009
16,9–17,0 м	< 0,01	33,35	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0232	0,0001	0,0011
21,4–21,5 м	< 0,01	34,37	< 0,001	0,053	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0255	0,0001	0,0009
25,1–25,2 м	< 0,01	32,36	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0154	0,0001	0,0009
28,0–28,1 м	< 0,01	22,99	< 0,001	0,043	0,004	< 0,001	0,0002	0,0155	0,0004	0,0012
Содержание элементов (%) в образцах скв. 3П										
16,2–16,3 м	< 0,01	34,44	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0280	0,0001	0,0009
18,5–18,6 м	< 0,01	33,31	< 0,001	0,029	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0232	0,0001	0,0011
20,0–20,1 м	< 0,01	34,37	< 0,001	0,053	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0255	0,0001	0,0009
25,3–25,4 м	< 0,01	32,36	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0154	0,0003	0,0008
27,0–27,1 м	0,85	26,40	< 0,001	0,044	< 0,001	< 0,001	0,0002	0,0155	0,0004	0,0012
Содержание элементов (%) в образцах скв. 4П										
13,2–13,3 м	< 0,01	32,07	< 0,001	0,024	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0216	0,0001	0,0009
16,0–16,1 м	< 0,01	30,05	< 0,001	0,009	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0219	0,0001	0,0009
18,3–18,4 м	< 0,01	33,18	< 0,001	0,013	< 0,001	< 0,010	< 0,0001	0,0218	0,0001	0,0009
22,5–22,6 м	< 0,01	35,84	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,010	< 0,0001	0,0283	0,0002	0,0008
24,0–24,7 м	< 0,01	31,76	< 0,001	0,015	< 0,001	< 0,010	0,0002	0,0206	0,0003	0,0009
Содержание элементов (%) в образцах скв. 5П										
9,6–9,7 м	1,23	4,75	< 0,007	0,326	< 0,001	0,001	0,0017	0,016	0,0044	0,0058
11,6–11,7 м	< 0,01	27,12	< 0,001	0,011	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,024	< 0,0001	0,0010
13,8–13,9 м	< 0,01	20,94	< 0,001	0,022	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,020	< 0,0001	0,0009
16,2–16,3 м	< 0,01	36,30	< 0,001	0,016	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,017	0,0001	0,0008
18,4–18,5 м	< 0,01	23,03	< 0,001	0,008	< 0,001	< 0,001	0,0002	0,019	< 0,0001	0,0008
19,0–19,1 м	< 0,01	21,64	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,022	0,0001	0,0007
21,2–21,4 м	< 0,01	19,17	< 0,001	0,023	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,021	0,0001	0,0021
24,8–24,9 м	0,78	6,12	< 0,002	0,263	< 0,001	0,007	0,0016	0,010	0,0040	0,0105

Заключение

Результаты минералого-петрографических исследований дают богатый фактический материал о литологическом составе и состоянии горных пород и позволяют выяснить, уточнить или исправить: название породы; ее ге-

незис; комплекс минералов, присутствующих в породе; весовое содержание каждого элемента породы, в т.ч. стронция, обладающего высокой миграционной способностью.

Во всех без исключения меловых породах на площадке Курской АЭС-2 по результатам спектрального анализа на

Таблица 2 (продолжение)
Table 2 (continued)

Результаты рентгеноспектрального анализа Results of X-ray spectral analysis										
Интервал отбора образцов	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr
	Содержание элементов (%) в образцах скв. 6П									
9,5–9,6 м	0,26	3,45	0,02	0,014	< 0,001	< 0,001	-	0,0050	0,0001	0,0029
11,0–11,1 м	< 0,01	27,21	< 0,01	0,007	< 0,001	0,001	< 0,0001	0,0230	0,0002	0,0009
12,5–12,6 м	0,25	23,83	< 0,01	0,005	< 0,001	0,001	< 0,0001	0,0210	< 0,0001	0,0009
14,0–14,1 м	< 0,01	31,49	< 0,01	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0170	< 0,0001	0,0006
15,9–16,0 м	< 0,01	30,88	< 0,01	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0220	< 0,0001	0,0010
19,0–19,1 м	< 0,01	28,33	< 0,01	0,001	0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0180	< 0,0001	0,0006
21,2–21,3 м	< 0,01	21,18	< 0,01	0,002	0,003	< 0,001	0,0020	0,0130	0,0100	0,0018
21,6–21,7 м	0,25	13,20	< 0,01	0,012	0,005	0,001	0,0040	0,0130	0,0130	0,0024
24,2–24,3 м	1,52	4,67	0,13	1,071	< 0,001	< 0,001	0,0025	0,0082	0,0015	0,0176
	Содержание элементов (%) в образцах скв. 9П									
9,6–9,7 м	0,01	3,5	< 0,01	0,06	< 0,001	< 0,001	0,0002	0,0016	< 0,0001	0,0010
11,2–11,3 м	0,02	31,8	< 0,01	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0230	< 0,0001	0,0013
12,4–12,5 м	< 0,01	39,6	< 0,01	0,05	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0290	< 0,0001	0,0008
14,0–14,1 м	< 0,01	40,0	< 0,01	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0200	< 0,0001	0,0010
16,0–16,1 м	< 0,01	35,8	< 0,01	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	0,0200	< 0,0001	0,0014
19,1–19,2 м	< 0,01	32,0	< 0,01	0,03	< 0,001	0,001	< 0,0001	0,0180	< 0,0001	0,0007
21,3–21,4 м	0,01	25,0	< 0,01	0,06	0,010	0,002	0,0004	0,0160	0,0005	0,0020
	Содержание элементов (%) в образцах скв. 10П									
18,1–18,2 м	1,99	12,45	0,15	0,828	< 0,001	0,002	0,004	0,0201	0,0012	0,0127
18,9–19,0 м	< 0,01	35,85	< 0,01	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0246	0,0001	0,0051
20,8–20,9 м	< 0,01	35,48	< 0,01	0,034	< 0,001	< 0,001	0,001	0,0283	0,0001	0,0052
22,8–22,9 м	< 0,01	35,42	< 0,01	0,012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0239	< 0,0001	0,0043
23,1–23,2 м	< 0,01	36,83	< 0,01	0,014	< 0,002	< 0,001	< 0,001	0,0264	0,0002	0,0061
24,1–24,2 м	< 0,01	37,71	< 0,01	0,011	< 0,001	0,002	< 0,001	0,0269	0,0002	0,0051
25,1–25,2 м	< 0,01	30,66	< 0,01	0,015	< 0,001	0,003	0,001	0,0258	0,0002	0,0060
27,6–27,7 м	< 0,01	31,58	< 0,01	0,032	0,003	0,001	< 0,001	0,0155	< 0,0001	0,0044
29,6–29,7 м	1,70	23,36	< 0,07	0,512	0,004	0,002	0,002	0,0125	0,0010	0,0125
	Содержание элементов (%) в образцах скв. 13П									
16,2–16,3 м	1,33	15,02	0,20	0,990	0,0005	0,0001	0,0030	0,040	0,0014	0,0147
17,4–17,5 м	< 0,01	38,53	< 0,01	0,040	0,0005	0,0001	< 0,0001	0,071	< 0,0001	< 0,0001
19,8–19,9 м	< 0,01	33,60	< 0,01	0,041	< 0,0005	0,0001	< 0,0001	0,064	< 0,0001	< 0,0001
23,0–23,1 м	< 0,01	32,79	< 0,01	0,040	< 0,0005	0,0001	< 0,0001	0,054	< 0,0001	< 0,0001
26,0–26,1 м	< 0,01	35,71	< 0,01	0,039	< 0,0005	0,0001	< 0,0001	0,049	< 0,0001	< 0,0001
28,2–28,3 м	< 0,01	40,10	< 0,01	0,039	< 0,0005	0,0001	< 0,0001	0,020	< 0,0001	< 0,0001

приборе РеСПЕКТ четко выделяются на графиках два пика по содержанию кальция и стронция. Во всех исследуемых образцах мела фиксируется относительно высокое содержание стронция, т.е. по этому показателю зоны активного растворения мела на изучаемой территории отсутствуют. По-

верхностных карстовых и карстово-суффозионных форм на территории исследования площадью 300 км² не обнаружено.

Таким образом, результаты минералого-петрографических исследований с большой эффективностью могут быть использованы для оценки карстоопасности территорий. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский А.Д., 1912. Верхнемеловые отложения востока Европейской России. Типография Императорской академии наук, Санкт-Петербург.
2. Безбородов Р.С., Камалов В.Г., Мартин В.И., Миронов Н.А., Тихомиров Л.В., Травкин А.И., 1990. Некоторые результаты изучения литологических особенностей пород в связи с карстообразованием на территории Башкирии. Противокарстовая защита объектов строительства, Материалы Всесоюзного совещания, Куйбышев, 1990, с. 98–99.
3. Бобков А.Н., Миронов Н.А., Попенко Н.А., 2016. Философия и методология исследования карстового процесса. Новые идеи в науках о Земле, Материалы VIII международной межвузовской научной конференции, Москва, 2016, с. 439–441.
4. Бушинский Г.И., 1954. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. Труды ГИН АН СССР, Вып. 156 (№ 67), Москва.
5. Бушинский Г.И., Шумейко С.И., 1979. Писчий мел и его происхождение. Литология и полезные ископаемые, № 2, Москва, с. 37–53.
6. Дмитриев Д.А., Сивко А.Д., Жабин А.В., 2004. Сантонские отложения правобережья среднего течения р. Дон. Труды НИИ геологии ВГУ, Вып. 21, Воронеж.
7. Кириченко А.А., 1983. Изучение динамики карстового процесса по литолого-геохимическим данным пород. Строительство на закарстованных территориях, Тезисы докладов Всесоюзного совещания, Москва, 1983, с. 31–32.
8. Миронов Н.А., 1990. Минералого-петрографические и лабораторные исследования меловых пород при изучении карста. Противокарстовая защита объектов строительства, Материалы всесоюзного совещания, Куйбышев, 1990, с. 101–103.
9. Миронов Н.А., Георгиевский А.Ф., Попенко Н.А., Бугина В.М., 2017. Комплекс минералого-петрографических исследований меловых пород для оценки карстоопасности территорий и воздействия на окружающую среду. В сб. статей под ред. И.Г. Спиридонова, С.Б. Самаева, Геоэкологические исследования состояния окружающей среды. Изд-во ИМГРЭ, Москва, с. 104–112.
10. Мощанский В.А., 1977. О микроструктуре и классификации мелов. Литология и полезные ископаемые, № 3, с. 67–77.
11. Попенко Н.А., 2017. Литологическая характеристика карстующихся пород и покрывающих их отложений комплексом минералого-петрографических методов для оценки и прогноза карста. Геология в развивающемся мире, Материалы X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых, Том 1, Пермь, 2017, с. 330–331.
12. Савко А.Д., Дмитриев Д.А., Иванова Е.О., Чигарев А.Г., 2009. Литология и полезные ископаемые сантона центральной части КМА. Труды НИИ геологии ВГУ, Вып. 54, Воронеж.
13. Савчинская О.В., 1976. Об условиях образования писчего мела юга Русской платформы по палеоэкологическим данным. Литология и полезные ископаемые, № 5, с. 109–117.
14. Чирвинский П.Н., 1904. Геологические наблюдения в Болховском уезде Орловской губернии и в смежном с ним частях Мценского и Белевского уездов. Записки Киевского общества естествоиспытателей, Киев.
15. Шатский Н.С., 1924. Стратиграфия и тектоника верхнемеловых нижнетретичных отложений северной окраины Донецкого края. Труды Особой комиссии по исследованию Курских магнитных аномалий, Вып. 5, Москва, с. 82–152.
16. Шумейко С.И., 1976. Известковый нанопланктон мезозоя Европейской части СССР. Наука, Москва.
17. Cayeux L., 1897. Contribution à l'étude micro graphique des terrains sédimentaires. La Craie du bassin de Paris. Annales de la Société géologique Du Nord, 4, livre 2.
18. Hancock J.M., 1975. The petrology of the Chalk. Proceedings of the Geologists' Association, Vol. 86, Issue 4, London, UK, pp. 499–535.
19. Morse J.W., 2005. Formation and diagenesis of carbonate sediments. Treatise on geochemistry, Vol. 7, pp. 67–85.
20. Wright V.P., Tucker M.E., 1990. Carbonate sedimentology. Blackwell Science LTD, Oxford.

REFERENCES

1. Arkhangelsky A.D., 1912. Upper Cretaceous deposits of the east of European Russia. Printing house of the Imperial Academy of Sciences, Saint-Petersburg. (in Russian)
2. Bezborodov R.S., Kamalov V.G., Martin V.I., Mironov N.A., Tikhomirov L.V., Travkin A.I., 1990. Some results of studying lithological features of rocks in connection with karst formation in the territory of Bashkiria. Anti-karst protection of construction sites, Materials of the All-Union Conference, Kuibyshev, 1990, pp. 98–99. (in Russian)
3. Bobkov A.N., Mironov N.A., Popenko N.A., 2016. Philosophy and methodology of the research of the karst process. New ideas in earth sciences, Materials of the VIII International interuniversity scientific Conference, Moscow, 2016, pp. 439–441. (in Russian)
4. Bushinsky G.I., 1954. Lithology of Cretaceous deposits of the Dnieper-Donets depression. Proceedings of the USSR Academy of Sciences, Issue 156 (No. 67), Moscow. (in Russian)
5. Bushinsky G.I., Shumeyko S.I., 1979. Writing chalk and its origin. Lithology and Minerals Resources, No. 2, Moscow, pp. 37–53. (in Russian)

6. Dmitriev D.A., Sivko A.D., Zhabin A.V., 2004. Santonian deposits of the right bank of the middle course of the river Don. Proceedings of the Institute of Geology, Voronezh State University, Issue 21, Voronezh. (in Russian)
7. Kirichenko A.A., 1983. Study of the dynamics of the karst process according to the lithological and geochemical data of the rocks. Construction in the karst territories, Abstracts of reports of the All-Union Meeting, Moscow, 1983, pp. 31–32. (in Russian)
8. Mironov N.A., 1990. Mineralogical-petrographic and laboratory studies of Cretaceous rocks in the study of karst. Anti-karst protection of construction sites, Materials of the All-Union Conference, Kuibyshev, 1990, pp. 101–103. (in Russian)
9. Mironov N.A., Georgievsky A.F., Popenko N.A., Bugina V.M., 2017. A complex of mineralogical-petrographic studies of Cretaceous rocks to assess the karst hazard of the territories and environmental impact. In collection of papers I.G. Spiridonov, S.B. Samaev (eds.), Geocological studies of the state of the environment. Publishing house of the Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, pp. 104–112. (in Russian)
10. Moshchansky V.A., 1977. On the microstructure and classification of Cretaceous. Lithology and Minerals Resources, No. 3, pp. 67–77. (in Russian)
11. Popenko N.A., 2017. Lithological characteristics of karst rocks and deposits covering them with a complex of mineralogical and petrographic methods for estimating and predicting karst. Geology in the developing world, Materials of the X International scientific and practical Conference of students, graduate students, young scientists, Vol. 1, Perm, 2017, pp. 330–331. (in Russian)
12. Savko A.D., Dmitriev D.A., Ivanova E.O., Chigarev A.G., 2009. Lithology and minerals of the Santon of the central part of the Kursk magnetic anomaly. Proceedings of the Institute of Geology, Voronezh State University, Issue 54, Voronezh. (in Russian)
13. Savchinskaya O.V., 1976. On the conditions for the formation of chalk in the south of the Russian platform according to paleoecological data. Lithology and Mineral Resources, No. 5, pp. 109–117. (in Russian)
14. Chirvinsky P.N., 1904. Geological observations in the Bolkhov district of the Oryol province and in adjacent parts of Mtsensky and Belevsky districts. Notes of the Kiev Society of Naturalists, Kiev. (in Russian)
15. Shatsky N.S., 1924. Stratigraphy and tectonics of the Upper Cretaceous Lower Tertiary deposits of the northern outskirts of the Donetsk Ridge. Proceedings of the Special Commission for the Study of the Kursk Magnetic Anomalies, Issue 5, Moscow, pp. 82–152. (in Russian)
16. Shumeyko S.I., 1976. Calcareous Mesozoic Nanoplankton of the European part of the USSR. Nauka, Moscow. (in Russian)
17. Cayeux L., 1897. Contribution à l'étude micro graphique des terrains sédimentaires. La Craie du bassin de Paris. Annales de la Societe geologique Du Nord, 4, livre 2.
18. Hancock J.M., 1975. The petrology of the Chalk. Proceedings of the Geologists' Association, Vol. 86, Issue 4, London, UK, pp. 499–535.
19. Morse J.W., 2005. Formation and diagenesis of carbonate sediments. Treatise on geochemistry, Vol. 7, pp. 67–85.
20. Wright V.P., Tucker M.E., 1990. Carbonate sedimentology. Blackwell Science LTD, Oxford.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПОПЕНКО НАДЕЖДА АЛЕКСЕЕВНА

Инженер-геолог Бюро комплексных инженерных изысканий АО «Атомэнергопроект», г. Москва, Россия; аспирант кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

ГЕОРГИЕВСКИЙ АЛЕКСЕЙ ФЕДОРОВИЧ

Доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов (РУДН), д.г.-м.н., г. Москва, Россия

МИРОНОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

Заведующий отделом инженерно-геологических процессов и инженерно-экологических исследований, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, к.г.-м.н., г. Москва, Россия

ПЕНДИН ВАДИМ ВЛАДИМИРОВИЧ

Заведующий кафедрой инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), д.г.-м.н., профессор, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

NADEZHDA A. POPENKO

Engineer-geolog of the Bureau of Comprehensive Engineering Survey, "Atomenergoproekt" JSC, Moscow, Russia; postgraduate student of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow, Russia

ALEXEY F. GEORGIEVSKY

Associate professor of the Department Oil and Gas Business, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), PhD (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

NIKOLAY A. MIRONOV

Head of the Department of Engineering-Geological and Engineering-Ecological Survey, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

VADIM V. PENDIN

Head of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), PhD (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Moscow, Russia