



ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ

К.В. РЕПИНА

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»
ул. Челюскинцев, 291, Донецк 83004, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема селективной отработки сортов нерудного сырья весьма актуальна, поскольку сокращает цепочку операций переработки и обогащения сырья, уменьшает отходы горного производства. Геолого-технологическое картирование решает эту задачу для многих видов сырья. Для его проведения на месторождениях карбонатных пород необходимо предварительно выполнить прогнозирование участков карстовых образований в толще первичных пород, которое не реализовано на производстве.

Цель. Разработка методики и проведение геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита.

Материалы и методы. Фактическим материалом для исследования служили результаты геолого-разведочных работ масштаба 1:200 000, документация керн разведочных скважин, химические анализы керновых и технологических проб при эксплуатации месторождений карбонатных пород.

Результаты. Расположение месторождений карбонатных пород на сопряжении двух тектонических структур — Донбасса и Приазовского блока Украинского щита, имевших в течение геологической истории развития региона разные знаки вертикальной составляющей тектонических движений, привело к блочной структуре карбонатной толщи. Глубина залегания кристаллического фундамента и мощность карбонатной толщи, установленные в блоках, позволяют определить пространственное положение блоков с полным геологическим разрезом. Большая глубина залегания кристаллического фундамента и стабильное положение блока обеспечивали большую мощность карбонатной толщи и сохранность высокого качества первичных карбонатных пород. Получено уравнение регрессии между глубиной залегания кристаллического фундамента и мощностью карбонатной толщи, которое обеспечивает первоначальный прогноз расположения блоков высокого качества карбонатного сырья. На этой основе разработана методика выделения блоков однородного карбонатного сырья с последующей разбивкой по сортам, реализация которой на участках Новотроицкого месторождения приведена в статье.

Заключение. С блоковой тектонической структурой геологического строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита связана сохранность первичных пород и качество карбонатного сырья. Геолого-технологическое картирование карбонатного сырья следует проводить после детального анализа тектонического строения, который обеспечивает выделение зон эпигенетических преобразований первичных карбонатных пород. Границы сортовых блоков карбонатного сырья рационально проводить не в пределах месторождения, а в границах отдельных блоков геологического строения региона.

Ключевые слова: карбонатные породы, качество минерального сырья, геолого-технологическое картирование, тектонические зоны, зона сочленения Донбасса с Приазовским блоком

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Репина К.В. Повышение достоверности прогноза качества карбонатного сырья. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):17—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-17-30>

Статья поступила в редакцию 26.07.2024

Принята к публикации 28.11.2024

Опубликована 23.12.2024

IMPROVING FORECAST RELIABILITY OF CARBONATE RAW MATERIAL QUALITY

KSENIYA V. REPINA

*Republican Academic Research and Engineering Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying
291, Chelyuskintsev St., Donetsk 83004, Donetsk People Republic, Russian Federation*

ABSTRACT

Background. Selective mining of non-metallic raw materials provides the possibility of shortening the chain of processing and beneficiation operations, while reducing mining waste. Geological and technological mapping facilitates implementation of this approach for many types of raw materials. Implementation of selective mining of carbonate rock deposits requires preliminary forecasting of karst formations in the strata of primary rocks.

Aim. Development of a methodology for geological and technological mapping and to carry out its implementation in the carbonate rock deposits of the Donbass junction zone with the Priazovsky block of the Ukrainian shield.

Materials and methods. The research materials involved the data obtained during geological exploration works on a scale of 1:200,000, documentation of the core of exploration wells, chemical analyses of core and technological samples during the exploitation of carbonate rock deposits.

Results. The location of carbonate rock deposits at the junction of two tectonic structures, i.e., Donbass and the Priazovsky block of the Ukrainian shield, which had different signs of the vertical component of tectonic movements during the geological history of the region, led to the block structure of the carbonate strata. The depth of the crystalline basement and the thickness of the carbonate strata installed in the blocks make it possible to determine the spatial position of the blocks with a complete geological section. The large depth of the crystalline basement and the stable position of the block ensured a significant thickness of the carbonate column and the preservation of high-quality primary carbonate rocks. A regression equation between the depth of the crystalline basement and the thickness of the carbonate column is derived, which provides a preliminary forecast of the location of blocks of high-quality carbonate raw materials. This formed the basis for the development of a methodology for identification of blocks of homogeneous carbonate raw materials with subsequent breakdown by grades. The implementation of this methodology in the areas of the Novotroitsk field is described.

Conclusion. The block tectonic structure of the geological formation of the Donbass junction zone with the Priazovsky block of the Ukrainian shield is associated with the preservation of primary rocks and the quality of carbonate raw materials. Geological and technological mapping of carbonate raw materials should be carried out after a detailed analysis of the tectonic structure, which ensures the identification of zones of epigenetic transformations of primary carbonate rocks. It is rational to draw the boundaries of the varietal blocks of carbonate raw materials within the boundaries of individual blocks of the geological structure of the region, rather than within the boundaries of the deposit.

Keywords: carbonate rocks, quality of mineral raw materials, geological and technological mapping, tectonic zones, junction zone of Donbass and Priazovsky block

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Repina K.V. Improving the reliability of the forecast of the quality of carbonate raw materials. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):17—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-17-30>

Manuscript received 26 July 2024

Accepted 28 November 2024

Published 23 December 2024

Введение

При разработке месторождений нерудных полезных ископаемых основной проблемой является сортовая отработка сырья в соответствии с требованиями отраслей промышленности. Для ее реализации рекомендовано проведение геолого-технологического картирования еще на стадиях разведки месторождения [4]. Это позволяет снизить затраты на обогащение и переработку сырья, уменьшить отходы горного производства, прогнозировать участки заложения карьеров и направления расширения их работы [1]. Месторождения карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита были основным источником карбонатного сырья на Украине. Здесь разрабатываются Еленовское, Новотроицкое и Каракубское месторождения, в резерве находятся Родниковское, Южно-Шевченковское и Первомайское. Целью данной статьи является разработка методики и проведение геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита (УЩ).

Материалы и методы

Фактическим материалом для исследования служили результаты геолого-разведочных работ масштаба 1:200 000, документация керна, химические анализы проб, данные эксплуатации месторождений карбонатных пород.

Зона сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ — это тектонический шов, разделяющий Донбасс и Приазовский мегаблок УЩ. Южной и северной границами региона считаются субширотные соответственно Южно- и Северо-Волновахский разломы, западной — глубинный Криворожско-Павловский разлом, восточной — Грузско-Еланчикский разлом. Кроме региональных разломов в исследуемой структуре прослежены субмеридиональные, субширотные и диагональные разломы более низкого ранга. Основные черты геологического строения региона показаны на рисунке 1.

Сформированная в докембрии структура изменялась в герцинский и альпийский этапы тектономагматической активизации Восточно-Европейской платформы [6]. Тектонические движения в регионе исследования происходили в течение всего времени формирования Днепровско-Донецкого авлакогена и разделены на три этапа:

- доскладчатый ($D_3—C_1$) проявился крупными разломами северо-западного простирания;
- складчатый ($C_3—T$) характеризовался тангенциальными движениями, которые привели к формированию складчатой структуры субширотного простирания и разломов северо-восточного простирания;
- с послескладчатым ($J_3—K_1$) этапом связано формирование поперечных складок, купольных структур, разломов северо-западного и субмеридионального простирания.

В геологическом разрезе зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ четко выражены три структурных этажа, образованных в разные периоды ее развития. Они разделены поверхностями несогласия. Нижний структурный этаж сформирован в докембрии и представлен архей-протерозойскими гранитами, мигматитами и гнейсами. Они образуют кристаллический фундамент для вышележащих отложений региона. Выходы архей-протерозойских пород на дневную поверхность встречаются по берегам рек и верховьям балок, вдоль южной границы региона. По свойствам они аналогичны породам северной окраины Приазовского мегаблока.

К среднему герцинскому этажу относят осадочно-вулканогенные толщи девона и терригенно-карбонатную толщу карбона. Отложения карбона трансгрессивно залегают на различных свитах девона или с резким несогласием — на породах кристаллического фундамента. Карбонатная толща представлена отложениями турнейского и визейского ярусов нижнего карбона и, согласно последней утвержденной стратиграфической схеме, относится к микроволновахской серии нижнего карбона (C_1, mv). Выше по разрезу известняки визейского яруса сменяются глинистыми и песчаными сланцами, песчаниками

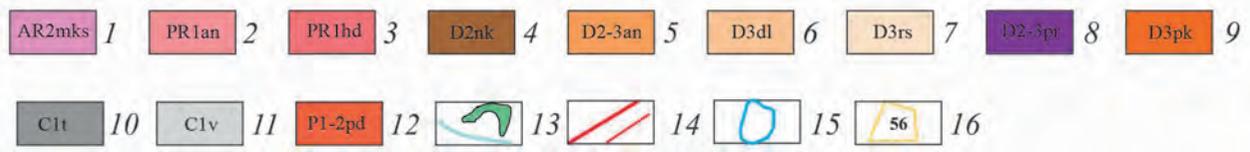
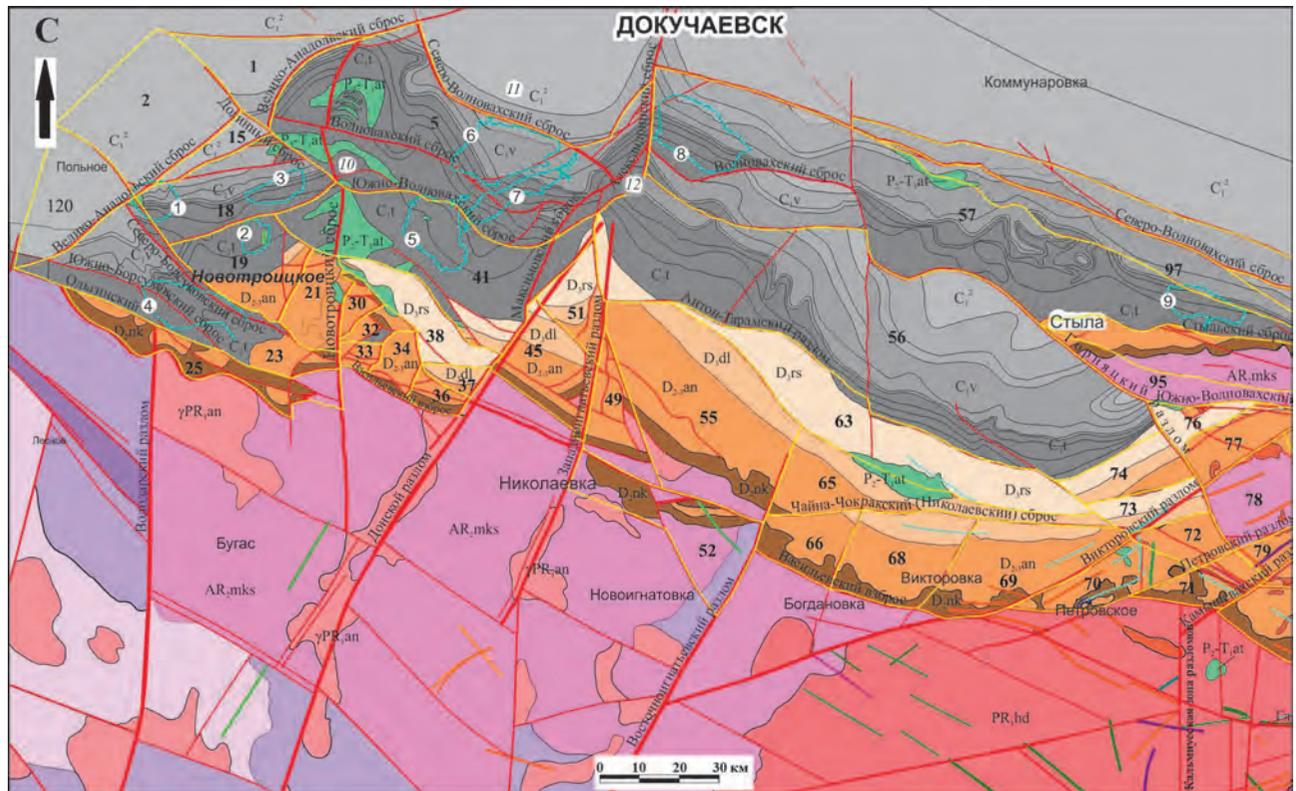


Рис. 1. Карта геологического строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ (по данным Приазовской КГРЭ): 1 — ассоциация максимовских гранодоритов (AR₂mks), 2 — анадольский комплекс (PR₁an), 3 — хлебодаровский комплекс (PR₁hd), 4 — николаевская свита (D₂nk), 5 — антоновская свита (D₂₋₃an), 6 — долгинская свита (D₃dl), 7 — раздольненская свита (D₃rs), 8 — приазовский комплекс (D₂₋₃pr), 9 — покрово-киреевский комплекс (D₃pk), 10 — турнейский ярус мокроволновухской серии (C₁t), 11 — визейский ярус мокроволновухской серии (C₁v), 12 — южно-донбасский комплекс (P₁₋₂pd), 13 — андезит-трахиандезитовый комплекс (P₂-T₁at), 14 — разломы (цифры в кружочках): 1 — Южно-Волновухский (Васильевский), 2 — Викторовский, 3 — Петровский, 4 — Камышевский, 5 — Комсомольский, 6 — Ксантовский, 7 — Горняцкий, 8 — Николаевский, 9 — Войковский, 10 — Северо-Волновухский, 11 — Волновухский, 12 — Антон-Тарамский; 15 — контуры карьеров; 16 — границы и номера тектонических блоков, выделенных по результатам данного исследования

Fig. 1. The map of the geological structure of the Donbass junction zone with the Priazovskiy block of the Ukrainian Shield (according to the data of the Priazov GRE): 1 — Association of Maximov granodiorites (AR₂mks), 2 — Anadolsky complex (PR₁an), 3 — Khlebodarovsky complex (PR₁hd), 4 — Nikolaevskaya suite (D₂nk), 5 — Antonovskaya suite (D₂₋₃an), 6 — Dolginskaya suite (D₃dl), 7 — Razdolnenskaya suite (D₃rs), 8 — Priazovskiy complex (D₂₋₃pr), 9 — Pokrovo-Kireevskiy complex (D₃pk), 10 — Tournai tier of the Mokrovolnovakha series (C₁t), 11 — the Vise tier of the Mokrovolnovakha series (C₁v), 12 — The South Donbass complex (P₁₋₂pd), 13 — andesite-trachyandesite complex (P₂-T₁at), 14 — faults (numbers in circles): 1 — Yuzhno-Volnovakhsky (Vasilyevsky), 2 — Viktorovsky, 3 — Petrovsky, 4 — Kamyshevakhsky, 5 — Komsomolsky, 6 — Xanthovsky, 7 — Gornyatsky, 8 — Nikolaevsky, 9 — Voykovsky, 10 — Severo-Volnovakhsky, 11 — Volnovakhsky, 12 — Anton-Taramsky; 15 — contours of quarries; 16 — boundaries and numbers of tectonic blocks identified by the results of this research

и алевролитами с прослойками известняков и угля серпуховского яруса нижнего карбона, башкирского яруса среднего карбона. Эти породы ограничено распространены в северной части района.

В пермь-триасовый период герцинского этапа тектономагматической активизации Восточно-Европейской платформы в регионе проходило внедрение штоков и даек южно-донбасского ($P_{1-2}pd$) и андезит-трахиандезитового (P_2-T_1at) магматического комплекса пород, главным образом по тектоническим нарушениям.

Верхний кайнозойский структурный этаж неогласно залегает на отложениях нижнего карбона, иногда девона, реже — на докембрийских породах. Породы палеогенового возраста представлены песчаными пестрыми глинами, которые содержат значительную долю углистого материала, каолинита с примесями кварцевых песков. Наибольшая мощность палеогена (до 80—90 м) наблюдается в районе тектонических нарушений. Средняя мощность палеогеновой толщи составляет около 20 м и почти всюду перекрыта делювиальными и аллювиальными отложениями четвертичной системы. Мощность четвертичных отложений колеблется в пределах от 0 до 63 м.

Продуктивная карбонатная толща (C_1mv) зоны сочленения Донбасса с Приазовьем содержит несколько видов полезных ископаемых: известняки, доломитизированные известняки и доломиты. Основная часть известняков состоит из органогенного кластического материала (детритуса): обломков ракушек, сцементированных перекристаллизованным кальцитом, иногда пелитоморфным карбонатным и глинистым материалом. Известняки содержат многочисленные остатки фораминифер, острокод, моховаток, криноидей, пелиципод. Скелеты организмов наполнены пелитоморфным кальцитом, внутренние полости — зернистым кальцитом. Обычными структурами известняков под микроскопом являются органогенная и полиморфная, редко встречается кристаллически-зернистая. В нижней части разреза (турнейский ярус) распространены афанитовые или сливные известняки. Цементирующая масса пород представлена крупнозернистым, реже мелкозернистым кальцитом. Водорослевые известняки имеют меньшее распространение, преимущественно в верхней части разреза (визейский ярус), где они представлены фораминиферо-водорослевыми мелкозернистыми известняками. Они состоят из многочисленных остатков трубчатых водорослей, наполненных крупнозернистым кальцитом и более редкими остатками других организмов.

Глинистые породы мокроволновахской серии карбонатной толщи распространены в нижней части разреза отложений турнейского яруса нижнего карбона. Они представлены разноцветны-

ми глинистыми сланцами. В карбонатных породах визейского яруса глинистые породы представлены серыми сланцами, содержащими микрофауну. Сложены они образованиями типа гидрослюда — монтмориллонит с небольшим количеством каолинита. Литологический состав горизонтов карбонатных пород Новотроицкого месторождения представлен в таблице 1.

Доломиты и доломитизированные известняки приурочены к нижней части разреза (турнейский ярус). Они представляют собой мелко-, среднезернистые породы, сложенные идиоморфными, изометричными зернами доломита. Вследствие сильной степени перекристаллизации основной массы в этих породах остатки органогенной структуры встречаются редко. Для них характерна кристаллически-зернистая, реже мозаичная структура, которая в значительной степени подтверждает осадочное происхождение этих литологических разновидностей. Они образовались на стадии диагенеза карбонатных отложений, за счет частичной замены катиона кальция катионом магния. Содержание последнего в породах меняется в зависимости от степени доломитизации известняков, которые с ее повышением переходят в доломиты.

Карбонатные породы на отдельных горизонтах месторождений по качеству соответствуют флюсовому сырью (табл. 2). Большие объемы сырья используются в цементной и пищевой промышленности.

Как видно из данных таблицы 2, средневзвешенные на всю мощность карбонатной толщи показатели качества (столбец 2) значительно хуже, чем на отдельных горизонтах. Отработка карбонатной толщи по горизонтам частично позволяет разделить сырье по сортам, но не решает задачу обеспечения промышленности требуемыми сортами.

Главной причиной снижения качества сырья является появление карстовых образований, предварительный прогноз которых на производстве не выполняется. Для обоснования потерь карбонатного сырья при эксплуатации рассчитывается коэффициент закарстованности каждого горизонта как отношение суммарной мощности зон карста к мощности горизонта по всем разведочным скважинам. При подсчете запасов определяется его средняя величина по каждому стратиграфическому горизонту карбонатной толщи. Наибольший коэффициент закарстованности установлен на горизонтах кондиционных флюсовых известняков: $C_1^t c$, $C_1^t d$, $C_1^v(b+c)$. В процессе отработки месторождения значения коэффициента закарстованности

Таблица 1. Литологические разновидности карбонатных пород Новотроицкого месторождения
Table 1. Lithological varieties of carbonate rocks of the Novotroitsk deposit

Стратиграфический горизонт	Литологические разновидности карбонатных пород
$C_1^t a_1$	Темно-серые и черные высококремнистые известняки с частыми прослойками известняковых углисто-глинистых сланцев. Известняки неравномерно доломитизированы. Подгоризонт завершает брекчия, состоящая из обломков известняка, сцементированных известняково-глинистым материалом
$C_1^t a_2$	Сливные и полусливные известняки, переслаивающиеся с неравномерно доломитизированными известняками и доломитами с небольшими прослоями глинистых сланцев
$C_1^t b_1$	Серые, мелко- и среднезернистые доломиты, доломитизированные известняки с равномерной степенью доломитизации, частично известняки
$C_1^t b_2$	Известняки серые, темно-серые до черных, сливные, полусливные скрытокристаллические; мелко- и среднезернистые доломиты с прослойками углисто-глинистых и известняково-глинистых сланцев, следы окремнения и доломитизации в нижней части подгоризонта
$C_1^t c$	Толстослоистые, серые и светло-серые, мелкозернистые известняки с зернами кальцита размером до 2—3 мм, вмещают пачку черных и темно-серых полусливных известняков с линзами и желваками кремней
$C_1^t d_1$	Сливные известняки серого и синевато-серого цвета с тонкими линзами кремней и прослоями окремненных известняков
$C_1^t d_2$	Темно-серые, почти черные мелко- и тонкозернистые известняки с большим количеством фауны
$C_1^v a$	Мелко- и среднезернистые тонкослойные битуминозные известняки темно-серого, почти черного цвета с прослойками углисто-глинистых сланцев и множеством ископаемой фауны
$C_1^v (b+c)$	Однообразные, довольно плотные средне- и тонкозернистые темно-серые и серые известняки, встречаются породы более светлоокрашенные и более крупнозернистые; редко в кровле горизонта наблюдаются желваки кремня
$C_1^v d$	Темно-серые и серые средне- и крупнозернистые известняки с тонкодисперсным рассеянным окремнением, в верхней и нижней 20-метровых пачках содержатся желваки и маломощные (до 5—7 см) слои черных кремней. В средней 30—35-метровой пачке слои кремней отсутствуют и содержание желваков кремня незначительное

Таблица 2. Химический состав карбонатных пород Новотроицкого месторождения
Table 2. Chemical composition of carbonate rocks of the Novotroitsk deposit

Показатели качества известняков	Средние значения показателей качества по всей продуктивной толще, %	Средние значения показателей качества по стратиграфическим горизонтам, %							
		$C_1^t a_1$	$C_1^t a_2$	$C_1^t b_1$	$C_1^t b_2$	$C_1^t c$	$C_1^t d$	$C_1^v a$	$C_1^v (b+c)$
CaO	40,33	38,8	36,3	34,4	47,7	50,8	52,8	47,2	52,5
MgO	10,6	6,6	14,7	16,1	3	0,7	0,9	1,4	0,9
SiO ₂	2,2	7,8	2,1	2,9	4,6	3,9	2,1	6,8	1,9
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0,67	0,1	0,05	0,04	0,8	0,5	0,8	2,1	0,5
S·10 ⁻²	6	6	8	3	9	3	6	2	0,5
P·10 ⁻³	3	3	3	3	3	3	3	3	3

уточняются и учитываются в балансе запасов. Поэтому главной задачей геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород является определение факторов распределения карстовых образований.

Степень закарстованности карбонатных пород зависит от многих факторов: физико-механических свойств, структуры и текстуры пород, их гипсометрического положения относительно уровня подземных вод, мощности покрывающих отложений,

рельефа местности и др. [2, 3]. Нами установлено, что вся толща вулканогенно-осадочных отложений региона, начиная от кристаллического архей-протерозойского фундамента и до покрывающих четвертичных отложений, разбита на блоки структурно-тектоническими дислокациями, проходившими в регионе в течение длительной истории формирования региона [5]. Блоки характеризуются различной полнотой геологического разреза и мощностью карбонатной толщи. Блоки, расположенные в северной части региона, прилегающей к Донбассу, характеризуются полным стратиграфическим разрезом и максимальной мощностью карбонатной толщи (рис. 2). Номера блоков, указанные на схеме геологического строения региона (см. рис. 1), совпадают с номерами на рисунке 2.

Южная часть региона характеризуется блоками укороченного разреза с выходом на поверхность архей-протерозойских и девонских пород. Карбонатная толща в большинстве таких блоков либо отсутствует полностью, либо имеет минимальную мощность. Роль факторов развития карста и его интенсивность меняются в каждом блоке различных частей изучаемого региона [9]. Поэтому прогнозирование карстовых образований следует проводить в каждом отдельном тектоническом блоке. Было

получено более точное значение коэффициента закарстованности по документации керн разведочных скважин для каждого блока как отношение суммы длин интервалов карста и выщелачивания к мощности карбонатной толщи в этой скважине. Его величина отражает близость скважины к тектоническим границам блока, а между блоками — близость блока к региональным тектоническим нарушениям [8]. Представленная на рисунке 2 схема представляет собой геологическую модель пространственного размещения однородных блоков карбонатных пород в регионе: чем ниже отметка кристаллического фундамента блока, указанная возле его номера на рисунке, тем меньше коэффициент тектонической нарушенности, больше полнота геологического разреза и мощность карбонатной толщи. Корреляционным анализом между мощностью карбонатной толщи в скважине и отметкой кристаллического фундамента показано, что существует тесная связь, что позволило рассчитать достоверное уравнение регрессии:

$$Y = -0,385 \times X + 136,9,$$

где Y — мощность карбонатной толщи,
 X — отметки кристаллического фундамента.

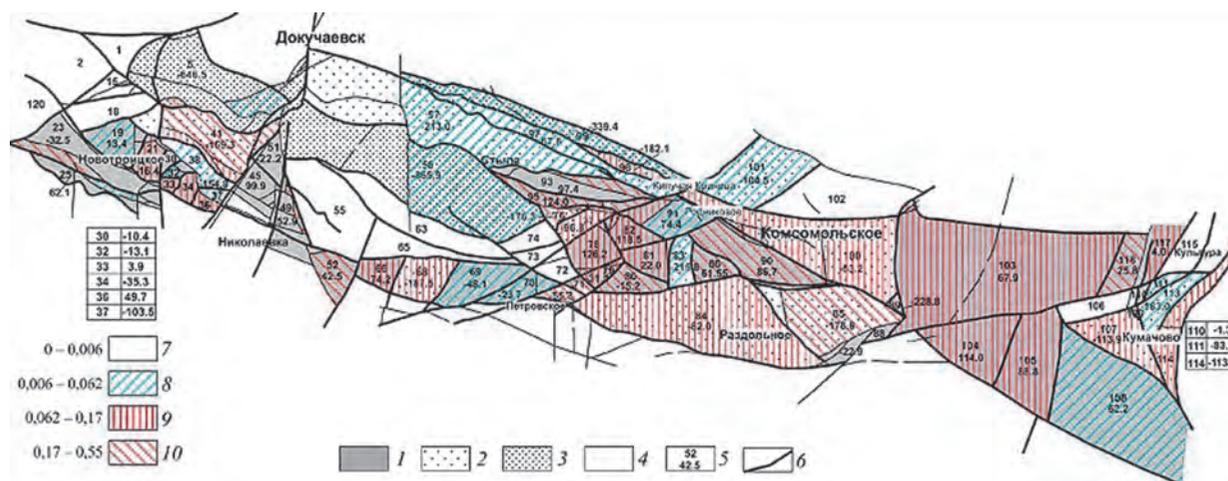


Рис. 2. Схема блокового строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ: 1—3 — диапазон абсолютных отметок кровли кристаллического фундамента в скважине: 1 — от -50 до +127; 2 — от -320 до -50; 3 — от -866 до -320; 4 — нет данных или скважина не добурена до пород фундамента; 5 — номер блока, среднее значение отметок фундамента в блоке; 6 — тектонические нарушения, границы блоков; 7—10 — средние значения коэффициента тектонической нарушенности (K_z) по скважинам в блоке, где $K_z = \sum \text{мощн.} / L$, где $\sum \text{мощн.}$ — суммарная мощность тектонических интервалов скважин, L — глубина скважины
Fig. 2. Diagram of the block structure of the Donbass junction zone with the Priazov block of the Ukrainian shield: 1—3 — the range of absolute marks of the roof of the crystalline foundation in the well: 1 — from -50 to +127; 2 — from -320 to -50; 3 — from -866 to -320; 4 — there is no data or the well is not drilled to the foundation rocks; 5 — block number, the average value of the foundation marks in the block; 6 — tectonic disturbances, block boundaries; 7—10 — average values of the tectonic disturbance coefficient (K_z) by wells in the block, where $K_z = \sum \text{мощн.} / L$, where $\sum \text{мощн.}$ — the total capacity of the tectonic intervals of wells, L — depth of the well

Это уравнение используется для планирования участков заложения карьеров, направления их продвижения. Проверка распространения карстовых образований в статье приведена только для западной части, где эксплуатируются Новотроицкое и Еленовское месторождения (рис. 3).

Новотроицкое месторождение расположено вблизи регионального Южно-Волновахского разлома, который является южной границей региона. Александрийский и Новотроицкий разломы совпадают с осевыми частями одноименных антиклиналей. Здесь распространены дайки и штоки пермь-триасового (P_{1-2} —Т) магматического комплекса пород, большая часть которых приурочена к тектоническим нарушениям. С этими образованиями связаны зоны развития гипогенного термального выщелачивания карбонатных пород, что доказано изотопным анализом проб этой зоны [7]. Наиболее крупный шток магматических пород расположен в осевой части Новотроицкой антиклинали — главного структурного элемента западной части региона. На ее восточном крыле расположены карьеры Еленовского месторождения, а на западном крыле — карьеры Новотроицкого месторождения.

Участки, расположенные на западном крыле Новотроицкой антиклинали, имеют большую мощность карбонатной толщи и низкие отметки кристаллического архей-протерозойского фундамента, что определяет положение высококачественных блоков карбонатного сырья. Восточное крыло Новотроицкой антиклинали имеет более сложное строение за счет значительной тектонической нарушенности. Наблюдается большое число андезитовых даек значительной мощности, которые ухудшают качество карбонатного сырья. Расположенный здесь карьер Центральный, от-

рабатывающий сырьем Еленовского месторождения, имеет незначительные перспективы сортовой отработки сырья высокого качества. В южном направлении происходит уменьшение мощности карбонатной толщи, на поверхность выходят отложения девона. В северном направлении расположены еще два карьера Еленовского месторождения — Восточно-Комсомольский и Восточный, которые имеют перспективы расширения в северном направлении. Характеристики тектонических блоков этих участков западной части региона по данным разведочно-поисковых скважин приведены в таблице 3.

Перспективная площадь (блоки № 1—3, 5, 15) имеют низкую степень разведанности. Здесь расположено небольшое количество скважин, по которым определены характеристики блоков. Мощность карбонатной толщи, рассчитанная по уравнению регрессии с глубиной залегания кристаллического фундамента блока, имела высокую степень совпадения с определением по единичным скважинам блока.

Более детальный анализ изменения мощности карбонатной толщи с определением сортового состава по каждому стратиграфическому горизонту был выполнен в блоке № 18 по скважинам опережающей эксплуатационной разведки. Здесь расположены два карьера — Западный известняковый и Мехрудник. Мощности карстовых образований нами установлены по документации керн проб разведочных скважин этого блока. Были рассчитаны значения коэффициента закарстованности как отношение суммы длин интервалов карстовых образований к мощности карбонатной толщи в скважине. Далее в программе SURFER были построены карты изопахит продуктивной толщи (рис. 4), карстовых образований

Таблица 3. Характеристика тектонических блоков Новотроицкого месторождения
Table 3. Characteristics of the tectonic blocks of the Novotroitsk field

Название карьера или участка	№ блока на рисунке	Мощность карбонатной толщи	Мощность карстовых зон	Глубина залегания кристаллического фундамента блока	Отметки устьев скважин
Перспективная площадь	1	266,1	18,04	от -363,1 до 86,4	186,3
	2	230,0	30,5	от -319,9 до 41,6	202,0
	3	182,8	38,5	от -250,0 до -140,3	198,5
	5	231,5	18,5	от -474,6 до 127,4	169,2
	15	181,3	31,0	от -126,5 до -71,5	204,0
Западный известняковый и Мехрудник	18	189,9	18,9	от -117,5 до -23,5	200,6
Западный доломитный	23	242,7	32,2	от -105,0 до -32,5	183,2

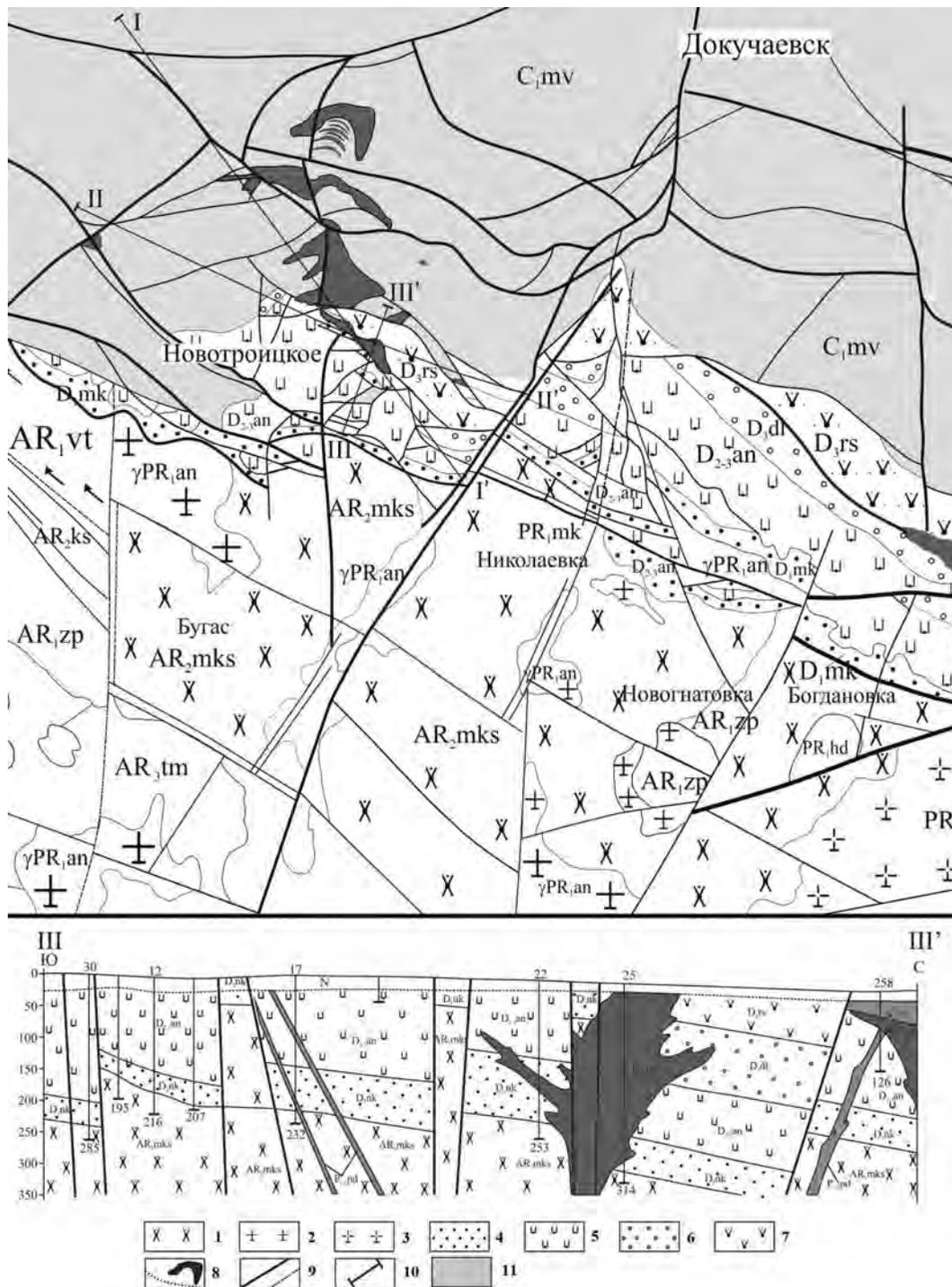


Рис. 3. Схематический план и разрез западной части региона исследования: 1 — максимовские гранодиориты (AR₂mks), 2 — анатольские граниты (PR₁an), 3 — хлебодаровский комплекс (PR₁hd), 4 — николаевская свита (D₃nk), 5 — антоновская свита (D₂₋₃an), 6 — долгинская свита (D₃dl), 7 — раздольненская свита (D₃rs), 8 — андезит-трахиандезитовый комплекс (P₂-T₁at), 9 — разломы; 10 — линии разрезов; 11 — мокроволновухская серия карбонатных пород (C₁mv)

Fig. 3. Schematic plan and section of the western part of the study region: 1 — Maximov granodiorites (AR₂mks), 2 — Anatol granites (PR₁an), 3 — Khlebodarovsky complex (PR₁hd), 4 — Nikolaevskaya suite (D₃nk), 5 — Antonovskaya suite (D₂₋₃an), 6 — dolginskaya suite (D₃dl), 7 — Razdolnenskaya suite (D₃rs), 8 — andesite-trachyandesite complex (P₂-T₁at), 9 — faults; 10 — geological section lines; 11 — Mokrovolnovakhskaya series of carbonate rocks (C₁mv)

(рис. 5), изолиний линейного коэффициента закарстованности (рис. 6) по всей мощности карбонатной толщи и на отдельных горизонтах.

На юге граница тектонического блока проходит по региональному Южно-Волновахскому разлому, который тянется с запада на восток в пределах всей зоны сочленения Донбасса с Приазовьем. Дополнительное негативное влияние оказывает субширотный Доломитный сброс. Западная граница участка проходит по Велико-Анадольскому сбросу. Полный стратиграфический разрез карбонатной толщи имеют всего две скважины блока. На западе — это скважина № 14 и скважина № 57, которая расположена на северной границе участка. Несмотря на присутствие всех горизонтов от $C_1^t a_1$ по $C_1^v(b+c)$ включительно, сортовой состав карбонатного сырья очень нестабилен.

На площади блока мощность карбонатной толщи (рис. 4) следует установленной закономерности ее изменения для всего региона исследования: увеличивается в северном направлении, к Донбассу, и уменьшается в южном направлении, к Приазовскому блоку Украинского щита.

Поэтому в южной части участка наблюдается уменьшение мощности и сокращение стратиграфического разреза карбонатной толщи. Наиболее полный разрез нижнего карбона наблюдается в северо-западной части. Здесь скважины (№ 87, 94, 93, 99) имеют качественное карбонатное

сырье начиная с нижних горизонтов турнейского яруса ($C_1^t b_1$) до верхних горизонтов визейского яруса ($C_1^v(b+c)$) нижнего карбона. На скважинах восточной части блока сказывается влияние Новотроицкой антиклинали, где распространены дайки и штоки андезитов.

Здесь установлен укороченный разрез, который начинается с доломитового горизонта $C_1^t b$ и заканчивается известняками горизонта $C_1^v d$. В центральной и южной частях блока карбонатное сырье представлено исключительно нижними горизонтами доломитов и доломитизированных известняков ($C_1^t a_2, C_1^t b_1$), которые меньше подвержены карсту. Поэтому здесь происходит снижение до нулевых значений мощности карстовых образований (рис. 5).

В юго-западной части блока в скважине № 65 резко увеличивается мощность карста. Причиной большой мощности карстовых образований является присутствие дайки андезитов, что привело к распространению процесса термального выщелачивания. Сырье в этой скважине полностью некондиционное. Влияние дайки андезитов установлено и в скважине № 912 в северо-восточной части участка. Вне зоны влияния дайки в скважине № 83 (западная часть блока) мощность карстовых образований значительно меньше и составляет всего 7,8 метра, а сырье пригодно для сталеплавильной промышленности (сорт $C_{1д}$).

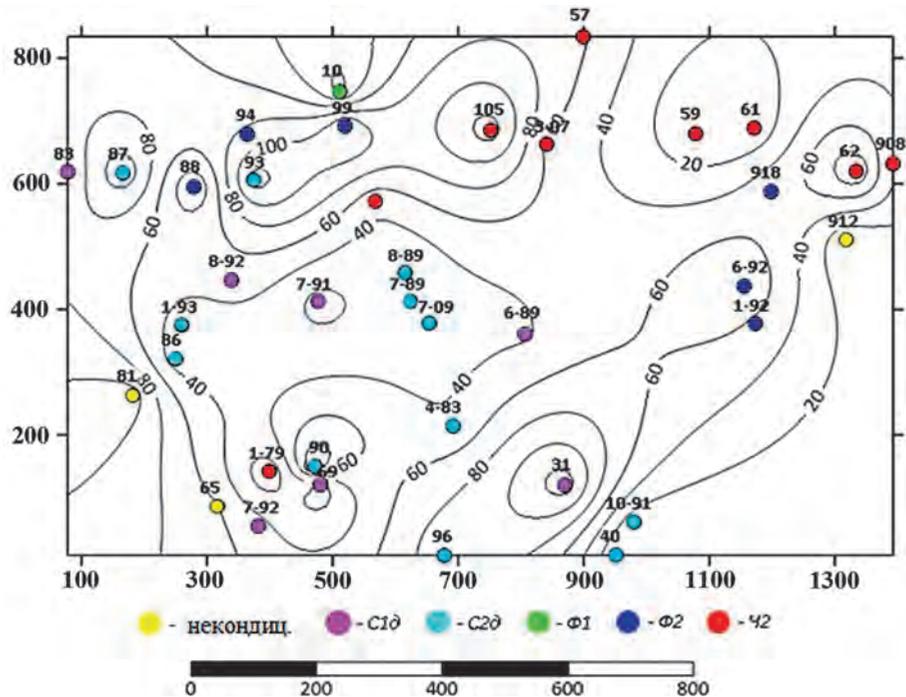


Рис. 4. Изопахиты продуктивной толщи и сорта карбонатного сырья
Fig. 4. Isopachites of productive strata and grades of carbonate raw materials

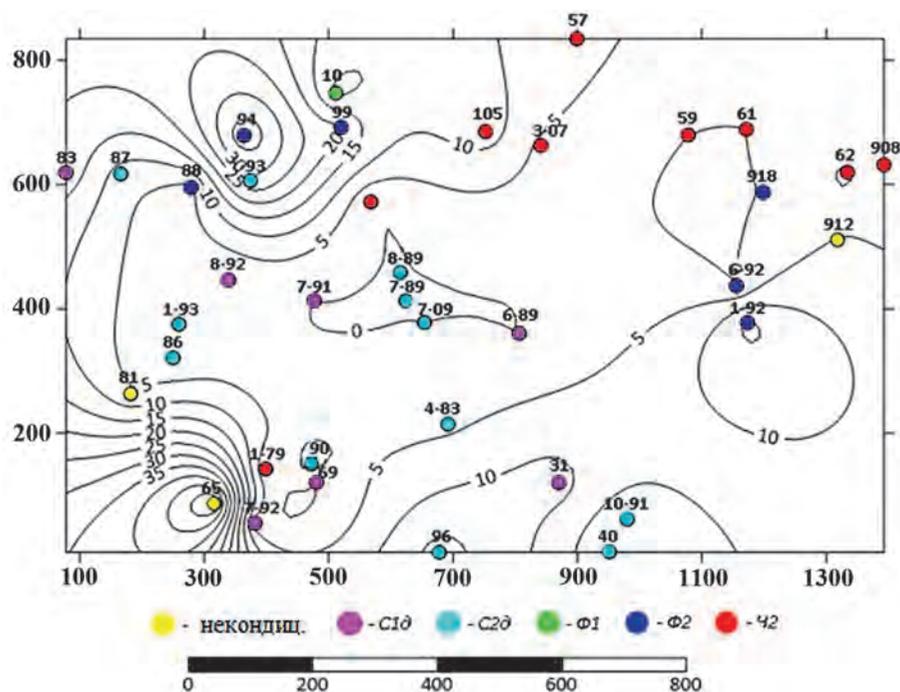


Рис. 5. Изопахиты карста и сорта карбонатного сырья
 Fig. 5. Karst isopachites and grades of carbonate raw materials

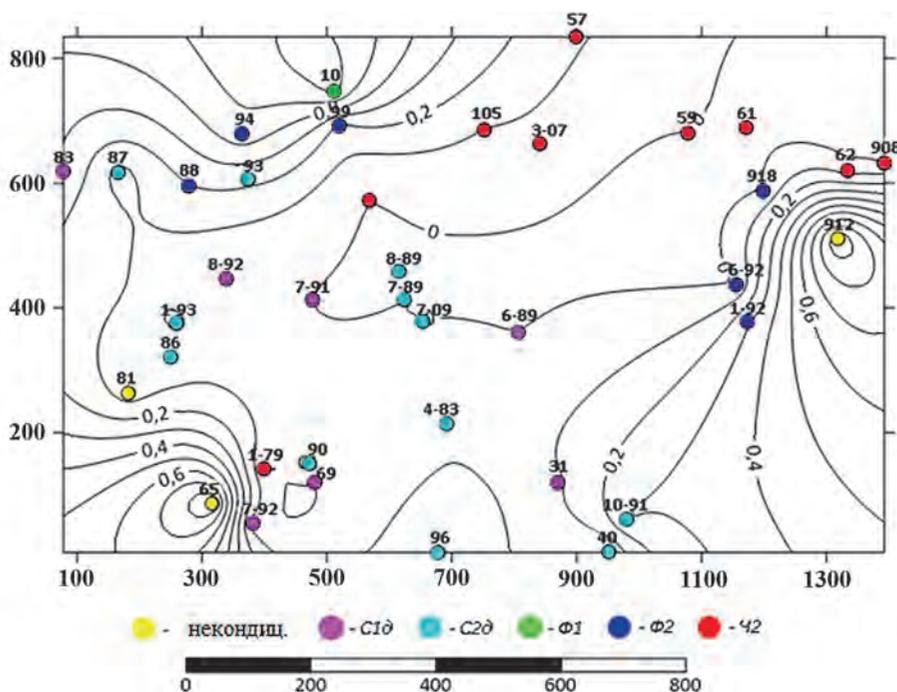


Рис. 6. Изолинии коэффициента закарстованности и промышленные сорта
 Fig. 6. Isolines karst coefficient and industrial grades

Значения коэффициента закарстованности (рис. 6) достаточно низкие в пределах всего блока, что говорит о стабильном, высоком качестве сырья, пригодном для сталеплавильной

промышленности (сорт $C_{1д}$, $C_{2д}$) и флюса (сорт Φ_1 и Φ_2).

Неравномерность распространения карстовых образований показана в западной части блока:

в скважине № 94 сырье соответствует высшему сорту для металлургической промышленности (сорт Ф₂), в скважине № 93, имеющей полный стратиграфический разрез, качественное карбонатное сырье чередуется с интервалами карстовых образований мощностью от 2 до 6 м. Суммарная мощность карста в скважине составляет 29,4 м. На большей части блока, за исключением крайней западной и восточной частей, установлено высокое качество сырья, соответствующее требованиям к флюсовому сырью (сорт Ф₁ и Ф₂) и сталеплавильной промышленности (сорт С_{1д}, С_{2д}). Исключение составляют крайняя западная и восточная части участка, которые близки к тектоническим границам блока. с некондиционным сырьем. Мощность продуктивной толщи (см. рис. 4) здесь соответствует средней по участку в целом.

Вышеприведенные карты сортов блока №18 построены с осреднением значений показателей качества (см. табл. 2) на всю мощность карбонатной толщи. Для погоризонтной отработки нами была построена сортовая карта горизонта С_γ(b+c) (рис. 7).

На этом горизонте наблюдается достаточно разнообразный сортовой состав сырья. Выделены дополнительные сорта (S₁ и S₂) для производства кальцинированной соды. В юго-восточной части блока горизонт С_γ(b+c) отсутствует. В связи с влиянием Новотроицкой антиклинали, в осевой части которой расположен шток андезитов, произошло сокращение разреза. Вдали от штока, в западной части блока, наблюдается более высокая мощность горизонта и качество сырья. Мощность горизонта максимальна в центральной

части блока, в отличие от мощности всей карбонатной толщи (см. рис. 4).

Заключение

Таким образом, основным фактором распределения качества карбонатного сырья в зоне сочленений Донбасса с Приазовским блоком УЩ является структурно-тектонический. С ним связано изменение мощности карбонатной толщи, сохранность геологического разреза в регионе и качество карбонатного сырья отдельных тектонических блоков. Геолого-технологическое картирование рационально проводить не в пределах всего региона, а в границах отдельных блоков карбонатной толщи однородного строения в следующей последовательности.

1. По сети тектонических нарушений региона провести границы блоков в толще карбонатных пород, учитывая элементы неоднородности строения и полноту геологического разреза.

2. Определить глубину залегания кристаллического фундамента и мощность карбонатной толщи в тектонических блоках, что позволит планировать участки заложения карьеров, убрать эродированные блоки из процедуры геолого-технологического картирования.

3. В результате детального анализа геологического строения перспективного блока выделить наиболее стабильные по качеству блоки карбонатного сырья с минимальной мощностью карстовых образований, определить возможность и границы селективной отработки по сортам на каждом горизонте.

4. При наличии в геологическом строении блока неоднородностей, влияющих на сортовой состав

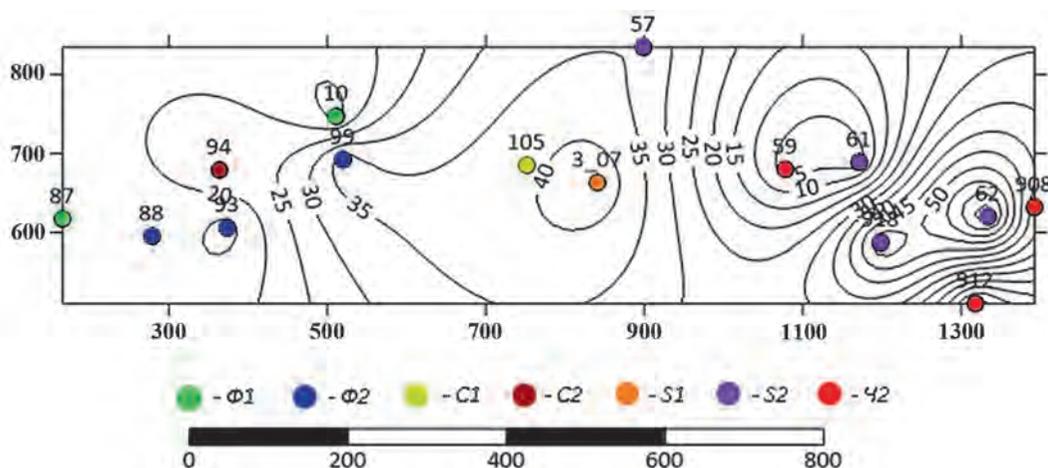


Рис. 7. Изопахиты мощности карбонатной толщи и сорта горизонта С_γ(b+c)
Fig. 7. Isopachites of carbonate thickness and horizon grades С_γ(b+c)

сырья, необходимо получить дополнительную информацию по скважинам опережающей эксплуатационной разведки, которая позволит повысить достоверность выделения границ сортовых блоков.

Проведение геолого-технологического картирования в таком порядке обеспечивает максимальную достоверность прогноза качества сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Лагов Б.С. и др. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны / Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. Дом НИТУ «МИСиС». Москва. 2015. 576 с.
2. Ильяш Д.В. Влияние геолого-структурного фактора на качество карбонатного сырья (на примере Ситовского месторождения флюсовых известняков Липецкой области). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2011. № 1. С. 145—154.
3. Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль. 1981. 214 с.
4. Козлова М.Д., Рябцев Д.А. Современный подход к геолого-технологическому картированию рудных месторождений. Горные науки и технологии. 2017. №1. С. 23—29.
5. Репина К.В. Роль тектонического фактора при формировании качества карбонатного сырья Каракубского месторождения Донецкой области. Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. Донецк. 2020. № 10—11 (25—26). С. 95—105.
6. Юдин В.В. Тектоника Южного Донбасса и рудогенез. УкрГГРИ Киев. 2006. 108 с.
7. Репина К.В., Волкова Т.П., Загнітко В.М., Мороз В.С., Проскурка Л.І. Про етапність мінералоутворення у карбонатних породах зони зчленування Донбасу з Приазовським мегаблоком (на прикладі Новотроїцького родовища). Мінералогічний журнал. 2020. 42. № 2. С. 20—31.
8. Repina K. Features of geological and technological mapping of carbonate deposits. International independent scientific journal. 2021. Vol. 2. No. 24. P. 10—15.
9. Repina K. Natural factors forming the quality of carbonate raw materials. Journal of Geology, Geography and Geocology. 2018. No. 27(3). P. 495—503. DOI: 10.15421/111873

REFERENCES

1. Bashlykova T.V., Pakhomova G.A., Lagov B.S. and others. Technological aspects of rational subsoil use: the role of technological assessment in the development and management of the country's mineral resource base / Under the scientific editorship of Y.S. Karabasov. The house of NUST MISIS. Moscow. 2015. 576 p. [In Russ.]
2. Ilyash D.V. The influence of the geological and structural factor on the quality of carbonate raw materials (on the example of the Sitovsky deposit of flux limestones of the Lipetsk region) // Bulletin of the VSU, series «Geology». 2011. No. 1. P. 145—154. [In Russ.]
3. Karst. M.: Mysl, 1981. 214 p. [In Russ.]
4. Kozlova M.D., Ryabtsev D.A. Modern approach to geological and technological mapping of ore deposits. Mining sciences and technologies. 2017. No. 1. P. 23—29. [In Russ.]
5. Repina K.V. The role of the tectonic factor in the formation of the quality of carbonate raw materials of the Karakubskoye deposit of the Donetsk region // Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr. Donetsk. 2020. № 10—11 (25—26). P. 95—105. [In Russ.]
6. Yudin V.V. Tectonics of the Southern Donbass and ore genesis // UKRGRI — Kiev, 2006. — 108 p. [In Russ.]
7. Repina K. V., Volkova T. P., Zagnitko V. M., Moroz V. S., Proskurka L. I. on the stages of mineral formation in carbonate rocks of the zone of articulation of Donbass with the Azov megablock (on the example of the Novotroitsky deposit). Mineralogical Journal (Ukraine). 2020. № 2(42). P.20—31. [In Ukr.].
8. Repina K. Features of geological and technological mapping of carbonate deposits. International independent scientific journal. 2021. Vol. 2. No. 24. P. 10—15.
9. Repina K. Natural factors forming the quality of carbonate raw materials / Journal of Geology, Geography and Geocology. — 2018. — No. 27(3). — P. 495—503.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Репина К.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, построила карты (работа в компьютерных программах MapInfo, Surfer), утвердила публикуемую версию статьи и согласна на себя принять ответственность за все аспекты работы.

Ksenia V. Repina — developed the concept of the article, prepared the text of the article, built maps (work in computer programs MapInfo, Surfer), approved the published version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Репина Ксения Владимировна — научный сотрудник отдела геодинамических и геофизических процессов ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»)

ул. Челюскинцев, 291, Донецк 83004, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация

e-mail: ecoseka@rambler.ru

SPIN-код: 5972-8316

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-2105>

Ksenia V. Repina — Researcher at the Department of Geodynamic and Geophysical Processes of the Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Surveying (RANIMI)

Chelyuskintsev str., 291, Donetsk 83004, Donetsk People's Republic, Russian Federation

e-mail: ecoseka@rambler.ru

SPIN-code: 5972-8316

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-2105>