

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.94:553.94

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-94-100>

**Методика учета влияния графической точности цифровых карт
при подсчете запасов угольного месторождения**

В. С. Сазонов¹, А. Н. Соловицкий¹✉

¹ Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

e-mail: san.mdig@mail.ru

Аннотация. В статье отражена точность подсчета запасов угольного месторождения в зависимости от масштаба исходного плана и технологии его создания и выделена недостаточная освещенность ее надежности и достоверности, что обосновывает актуальность и востребованность выполненных исследований. Отмечено, что связь расстояния между скважинами и графической точностью карты (плана) является теоретическим обоснованием цели исследования. Выполнена ее формулировка, нацеленная на решение проблемной ситуации, которая обусловлена разнородностью сбора цифровой горно-геометрической информации. На практике реализация предложенной методики учета влияния графической точности цифровых карт при подсчете запасов угольного месторождения (ГТЦК) обеспечивает оптимизацию не только сгущения разведочной сети, но и управления ресурсами, что формирует важную научную задачу экономики региона. Сделаны выводы о значимости моделирования, как неотъемлемой части технологии подсчета запасов угля.

Ключевые слова: подсчет запасов, графическая точность, разведочные сети, мощность, скважина

Для цитирования:

Сазонов В. С., Соловицкий А. Н. Методика учета влияния графической точности цифровых карт при подсчете запасов угольного месторождения. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 4. С. 94–100. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-94-100>

**Assessing the impact of digital map graphical accuracy
on coal reserve estimation: a methodological approach**

V. S. Sazonov¹, A. N. Solovitskiy¹✉

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

e-mail: san.mdig@mail.ru

Abstract. The precision of coal reserve estimation is fundamentally contingent upon the scale and production methodology of the underlying geological mapping. A critical review of the specialized literature reveals a conspicuous paucity of research addressing the reliability and validity of such assessments. This knowledge gap underscores the timeliness and necessity of this study. The theoretical framework of the research is grounded in the established correlation between drill-hole spacing along exploration profiles and the inherent graphical accuracy of the resultant geological maps. The primary objective was formulated to address the challenges arising from the heterogeneity of digital mining-geometric data acquisition. In practical terms, the implementation of the methodology, which integrates cartographic error modeling into the resource estimation workflow, enables the optimiza-

tion of both exploration grid density and subsequent resource management strategies. By mitigating uncertainties associated with digital map graphical accuracy, this approach transcends mere technical refinement; it constitutes a pivotal factor in ensuring the economic stability of the region. It is concluded that error modeling must be regarded as an indispensable component of coal reserve estimation technology.

Keywords: reserves estimation, graphical accuracy, exploration networks, capacity, drill-hole

For citation:

Sazonov V. S., Solovitskiy A. N. (2026). Assessing the impact of digital map graphical accuracy on coal reserve estimation: a methodological approach. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 4. pp. 94–100. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-94-100>

Введение

Актуальность создания цифровых геологических карт не вызывает сомнений, так как обеспечение технологического суверенитета и реализации экономических интересов Российской Федерации невозможно без оперативной информации о добыче ресурсов и их спросе на рынке. Без автоматизации геологических съёмок и оперативности их проведения сбор такой информации затруднен, а точность определения запасов и их динамики не сможет обеспечить конкурентного преимущества [1–3]. На основе выполненного анализа авторы отмечают многообразие источников указанной информации, среди которых доминируют картографические, прежде всего, это планы и разрезы. При этом на стадии геологоразведочных работ получают структурные (подсчетные) планы пластов и геологические разрезы по разведочным линиям, а при добыче полезных ископаемых – планы горных работ. Обеспечение конкурентного преимущества базируется на точности и достоверности указанного картографического обеспечения, развитие которого связано с научными исследованиями следующих ученых: А. В. Аленичева, А. М. Берлянта, И. Г. Журкина, А. Г. Иванова, Е. П. Истомина, А. П. Карпика, Т. П. Литвинова, О. В. Наговицына, М. В. Писаренко, С. П. Присяжнюка, Т. Б. Роговой, С. Н. Сербенюка, В. А. Спиридонова, В. И. Суханова, С. В. Шаклеина, А. Н. Шихова, А. Buckley, С. С. Янкелевич и многих других [4–10]. Их вклад является многоаспектным, включая как развитие теоретических основ, так и методологии, которая принята за основу создания ГТЦК. Выпол-

ненный анализ опубликованных работ свидетельствует о росте моделирования при изучении угольных месторождений, которое стало частью технологии методики геологической оценки угольных месторождений [11–16]. Кроме этого, некоторые исследования акцентируют внимание на особенностях использования различных программных продуктов при подсчете запасов, их представлении и визуализации, что нацелено на расширение и улучшение восприятия [17, 18]. На основе выполненного авторами анализа установлена недостаточная освещенность точности и достоверности ГТЦК, что влияет на определение объёмов и качества полезных ископаемых [19, 20].

Широко применяемые в геологической оценке угольных месторождений цифровые карты в Кузбассе базируются на различном исходном материале, что характеризует проблемную ситуацию, которая отражает разную их точность. Эта ситуация обусловлена разной технологией создания цифровых карт, что отражается на достоверности и надежности подсчета запасов при геологической оценке.

В современных экономических условиях санкционного давления на угольную отрасль роль цифровых карт значительно возрастает в плане роста требований к их точности и использования при оперативном принятии управленческих решений, что является важной научной задачей развития региона. Следовательно, цель исследований обоснована, а разработка методики ГТЦК является решением указанной задачи.

Масштабы запасов и добычи угля в Кузбассе являются доминирующими для Российской Федерации, что обосновывает научную значимость и востребованность разработки

указанной методики, а также необходимость изучения и математической обработки чрезвычайно большого объема разнородной информации. Это подтверждает не только актуальность исследования, но и научный и практический интерес для широкого ряда смежных специалистов как в области картографии, так и геологии и горного дела.

Методы и материалы

Геологическая оценка угольного месторождения выполняется поэтапно, каждый из которых характеризуется увеличением плотности разведочных сетей и объема информации, уточнением запасов, что определяется укрупнением масштаба съемки [21, 22]. Обоснование теоретических основ ГТЦК начнем с рассмотрения одной из двух основных технологий сбора информации на основе сканирования бумажных карт, которая не обеспечивает повышения его точности, что подробно рассмотрено авторами в [23]. Однако, по мнению авторов, в рамках картографической точности может быть создана модель для подсчета, которая опирается на упорядоченную систему сбора информации. Система сбора информации регламентируется величиной шага, зависящего от указанной точности. Предлагаемая авторами расчетная величина шага dx_i , dy_i сбора информации подробно изложена в работе авторов [24]. Указанный шаг в геологической практике определяет расположение скважин. Согласно предложению авторов он связан с масштабом карты

$$dx_{if} \leq dx_i; \quad (1)$$

$$dy_{if} \leq dy_i, \quad (2)$$

где dx_{if} , dy_{if} – фактические расстояния между скважинами.

При невыполнении критериев (1) и (2) необходимо сгущение скважин на основе бурения или моделирования.

Исходя из изложенного выше, методика ГТЦК включает:

- для исследуемого этапа – выбор масштаба картографирования;

- определение количественных значений параметров геологических условий и кондиций и их точности согласно технологии сбора информации;
- создание модели балансовых запасов угольного месторождения с заданной картографической точностью с учетом критериев (1), (2);
- расчеты показателей запасов и их точности по картометрическим показателям;
- анализ полученных результатов и его использования для освоения месторождения и планирования горных работ.

Результаты и обсуждение

Апробация разработанной авторами методики ГТЦК была выполнена для масштаба 1 : 5 000 на основе сканирования бумажного плана одного из угольных месторождений Кузбасса (участка шахты Южная Глубокая Талдинского каменноугольного месторождения) (рис. 1). Информационной основой для подсчета запасов угля изучаемого участка приняты результаты бурения скважин, для обеспечения выполнения критериев (1), (2). Их количество было увеличено путем моделирования, что соответственно привело к возрастанию подсчетных блоков с 19 до 31. Мощность пласта угля на указанных скважинах m_{mi} рассчитана на основе соседних m_{ji} и m_{j+1i}

$$m_{mi} = 0,5(m_{ji} + m_{i+1i}) \pm \Delta m_{\sigma}, \quad (3)$$

где Δm_{σ} – утроенная средняя квадратическая погрешность определения мощности угольного пласта в соответствующей скважине.



Рис. 1. Схема расположения участка шахты Южная Глубокая

Изменение формы разведочной сети за счет снижения расстояния между профилями до 68 м обеспечило выполнение требования условий учета графической точности топографического плана масштаба 1 : 5 000 (рис. 2). Ранее диапазон изменения указанных расстояний был от 120 до 140 м. Уменьшение расстояния между профилями и скважинами обусловило соответствующие изменения как площадей отдельных фигур подсчетных блоков от 20 094 м² до 112 944 м², так их мощности.

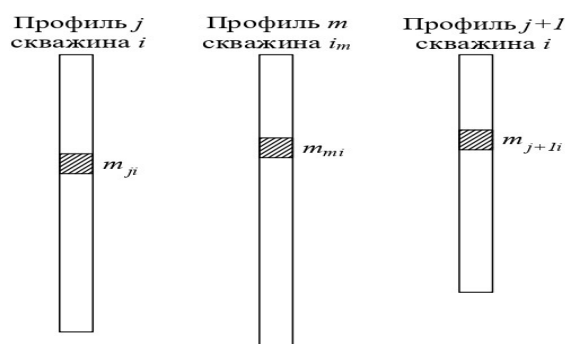


Рис. 2. Схема уменьшения расстояния между скважинами соседних профилей

Мощности подсчетных блоков определены с учетом сгущения разведочной сети скважин, при этом отмечен рост их количества (рис. 3).



Рис. 3. Изменения мощности подсчетных блоков (отдельных фигур)

Величина запасов угля согласно выполненным расчетам равна 9 937 095 433 тонн, а до сгущения разведочной сети – 9 923 273 154 тонн. Средние квадратические погрешности определения запасов угля соответственно равны 9 920 024 и 12 677 860 тонн.

Выполненная авторами апробация разработанной авторами методики ГТЦК на примере участка шахтного поля шахты Южная Глубокая свидетельствует о том, что:

- определены количественные значения параметров геологических условий и кондиций, соответствующие точности масштаба 1 : 5 000 согласно традиционной бумажной технологии сбора информации;
- создана модель балансовых запасов угольного месторождения с заданной картографической точностью с учетом критериев (1), (2) путем сгущения разведочной сети на основе моделирования в любом из применяемых в геологии и горном деле программных продуктов;
- рассчитана величина запасов и их точность, которые равны соответственно 9 937 095 433 и 9 920 024 тоннам, что свидетельствует о повышении надежности геологической оценки;
- анализ полученных результатов отражает уточнение запасов, которые равны 1 382 2279 тонн.

Заключение

Разработанная авторами методика ГТЦК носит интеграционный характер, объединяя моделирование, картографическую и геологическую информации, а также принятую в геологоразведочной практике приуроченность этапа исследований с масштабом картографирования и установленной зависимостью с оптимизацией сгущения разведочной сети.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов Д. С. Опыт использования геоданных в картографическом обеспечении геологоразведочных работ. Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 5. С. 598–608. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-5-598-608.
2. Копылова Н. С., Демидова П. М., Колесник О. А., Санникова А. П., Сазонова С. Г. Концептуальные основы отображения пространственных данных в минерально-сырьевом секторе.

Геодезия и картография. 2024. № 8. С. 2–13. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1010- 8-2-13. – EDN POWOFK.

3. Чехлар М., Жиронкин С. А., Жиронкина О. В. Цифровые технологии индустрии 4.0 в майнинге 4.0 – перспективы развития геотехнологии в XXI веке. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 3. С. 80–90.

4. Жуковский Ю. Л., Ишейский В. А., Булдыско А. Д., Гоцул Ю. Д. Роль цифровых технологий в комплексном освоении месторождений твердых полезных ископаемых. Научные междисциплинарные исследования. 2020. № 7. С. 14–19.

5. Рогова Т. Б., Шаклеин С. В., Ярков В. О. Подсчет запасов угольных месторождений. Кемерово, 2010. 112 с.

6. Агафонов И. А., Малофеев Д. Ф. Опыт защиты блочных моделей по угольным месторождениям в ГКЗ. Уголь. 2022. № 3(1152). С. 90–94.

7. Мальцев Е. Н. Сравнение российской и зарубежной систем подсчета запасов твердых полезных ископаемых и практический опыт использования. Глобус. 2022. № 1. С. 44–48.

8. Баранов Ю. Б., Грушин Р. В. Геоинформационные технологии в геологии и недропользовании. Геопрофи. 2006. № 2. С. 4–7.

9. Янкелевич С. С. Современная концепция и методология картографирования. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 3. С. 118–125. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-118-125.

10. Захаров М. С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии. М. : Лань, 2017. 435 с.

11. Басаргин А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий. Вестник СГГА. 2014. № 1(25). С. 34–39.

12. Бушуев Я. Ю., Федотов Г. С. Компьютерные технологии подсчета запасов. СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2018. 99 с.

13. Бесперстов А. С. Моделирование пластовых месторождений при помощи ГГИС Micromine. Горная промышленность. 2011. № 5(99). С. 86–88.

14. Сапронова Н. П., Федотов Г. С. Особенности моделирования пластовых месторождений в среде ГГИС Micromine. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № S1. С. 38–45.

15. Тедикова А. А., Красноцветов М. А. Использование ГГИС Micromine для моделирования участка угольного месторождения. Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче: сборник тезисов докладов I молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ, Москва, 19–21 февраля 2020 года. М. : Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 2020. С. 187–188.

16. Маниковский П. М., Васютин Л. А., Сидорова Г. П. Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС. Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27. № 2. С. 6–14. DOI 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14.

17. Наумов А. Н., Петрова А. С., Днепровская Д. А., Кислицын К. М. Алгоритм проектирования карьеров в горнодобывающем производстве средствами ГГИС «Micromine». Инновационные технологии в технике и образовании: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Чита, 14–15 декабря 2021 года. Чита: Забайкальский государственный университет, 2021. – С. 325–332.

18. Музыка И. М. Применение блочных моделей для повариантного подсчета запасов// Недропользование XXI век. 2020. № 6. С. 88–94.

19. Наставко Е. В., Наставко А. В., Кайзер Ф. Ю., Соловицкий А. Н. О цифровой модели угольного месторождения в Кузбассе в ГГИС Micromine. Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №1 (127). URL: <https://research-journal.org/archive/1-127-2023-january/10.23670/IRJ.2023.127.23> (дата обращения: 24.01.2023). DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.23.

20. Федоров Е. А., Соловицкий А. Н.. Моделирование как составная часть технологии геологоразведочных работ (на примере Низовского каменноугольного месторождения Кузбасса). Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21– 22 мая 2025 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». Новосибирск : СГУГиТ, 2024. № 2. С. 172–177. ISSN 2618-981X.

21. Жмакин Е. Я. Обоснование плотности сети скважин при детальной разведке угольных месторождений Подмосковского бассейна в связи с изменчивостью основных параметров угольного пласта: диссертация ...кандидата геолого-минералогических наук: 04.00.16. Москва, 1973. 167 с.
22. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б., Аксенов В. В., Писаренко М. В. Актуализация рекомендаций по плотности сети скважин при разведке угля. Недропользование XXI век. 2024. № 5-6(106). С. 46–53.
23. Соловицкий А. Н., Сазонов В. С. О математическом обеспечении геологической оценки угольных месторождений : сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки и образования». – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2024. С. 191–194.
24. Сазонов В. С., Соловицкий А. Н. Методика анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений. Вестник СГУГиТ. 2025. Т. 30. № 5. С. 78–88. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-78-88.

REFERENCES

1. Loginov D. S. (2021) Experience of using geodata in cartographic support of geological exploration works *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and aerophotography]*, 65(5), 598-608, DOI: 10.30533/0536-101X-2021-65-5-598-608 [in Russian].
2. Kopylova N. S., Demidova P. M., Kolesnik O. A., Sannikova A.P., Sazonova S.G. (2024) Conceptual foundations of displaying spatial data in the mineral resources sector *Geodesy and cartography*, 8, 2-13, DOI 10.22389/0016-7126-2024-1010- 8-2-13 [in Russian].
3. Chekhlar M., Zhironkina S. A., Zhironkina O.V. (2020) Digital technologies of Industry 4.0 in Mining 4.0 – prospects for the development of geotechnology in the 21st century *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 3, 80-90 [in Russian].
4. Zhukovsky Yu. L., Isheysky V. A., Buldysko A. D., Gotsul Yu. D. (2020) The role of digital technologies in the integrated development of solid mineral deposits *Scientific interdisciplinary research*, 7, 14–19 [in Russian].
5. Rogova T. B., Shaklein S. V., Yarkov V. O. (2010) *Estimation of reserves of coal deposits*. Kemerovo, 112 p. [in Russian].
6. Agafonov I. A., Malofeev D. V. (2022) Experience of protection of block models for coal deposits in the State Reserves Committee *Coal*, 3 (1152), 90-94 [in Russian].
7. Maltsev E. N. (2022) Comparison of Russian and foreign systems for estimating reserves of solid minerals and practical experience of use *Globus*, 1, 44-48 [in Russian].
8. Baranov Yu. B., Grushin R. V. (2006) Geoinformation technologies in geology and subsoil use *Geoprofi*, 2, 4–7 [in Russian].
9. Yankelevich S. S. (2024). Modern concept and methodology of cartography *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(3), 118–125. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-118-125 [in Russian].
10. Zakharov M. S. (2017) *Cartographic method and geoinformation systems in engineering geology*. Moscow: Lan, 2017. 435 p. [in Russian].
11. Basargin A. A. (2014) Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(25), 34–39 [in Russian]
12. Bushuev Ya. Yu., Fedotov G. S. (2018) *Computer technologies for reserve estimation* St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 99 p. [in Russian].
13. Besperstov A. S. (2011) Modeling of stratified deposits using GGIS Micromine *Mining industry*,. 5 (99), 86-88 [in Russian].
14. Sapronova N. P., G. S. Fedotov. (2018) Features of modeling of stratified deposits in the GGIS Micromine environment *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'[Mining information and Analytical Bulletin]*, S1, 38-45[in Russian].
15. Tedikova A. A., Krasnotsvetov M. A. (2020) Using GGIS Micromine to model a coal deposit site *In Sbornik materialov Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals -*

from forecast to production: collection of abstracts of reports of the 1st youth scientific and educational conference of TsNIGRI, Moscow, February 19–21, Moscow: Central Research Geological Prospecting Institute of Non-Ferrous and Precious Metals, 2020, 187–188 [in Russian].

16. Manikovskiy P. M., Vasyutich L. A., Sidorova G. P. (2021) Methodology for modeling ore deposits in GIS *Bulletin of the Transbaikal State University*. 27(2), 6–14. DOI 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14 [in Russian].

17. Naumov A. N., Petrova A. S., Dneprovskaya D. A., Kislitsyn K. M. (2021) Algorithm for designing quarries in mining using the Micromine GIS system *In Sbornik materialov Innovative Technologies in Engineering and Education: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, Chita, December 14–15*, Chita: Transbaikal State University, 2021. – Pp. 325–332 [in Russian]

18. Muzyka I. M. (2020) Application of Block Models for Variant-Based Reserve Estimation *Subsoil Use in the 21st Century*, 6, 88–94 [in Russian].

19. Nastavko E. V., Nastavko A. V., F. Yu. Kaiser F. Yu., Solovitsky A. N. (2023) On the digital model of a coal deposit in Kuzbass in GIS Micromine *International Research Journal*, 1 (127). - URL: <https://research-journal.org/archive/1-127-2023-january/10.23670/IRJ.2023.127.23> (date of access: 01/24/2023). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.23 [in Russian].

20. Fedorov E. A., Solovitsky A. N. (2024) Modeling as an integral part of geological exploration technology (using the Nizovskiy coal deposit in Kuzbass as an example) *In Sbornik materialov Inter-expo GEO-Siberia. XXI International Scientific Congress, May 21–22, 2025, Novosibirsk*: collection of materials in 8 volumes. Volume 1: International scientific conference "Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying", Novosibirsk: SGUGiT, 2, 172–177. – ISSN 2618-981X [in Russian].

21. Zhmakina E. Ya. Justification of the well network density in detailed exploration of coal deposits of the Moscow basin in connection with the variability of the main parameters of the coal seam: dissertation ... candidate of geological and mineralogical sciences: 04.00.16. Moscow, 1973, 167 p. [in Russian].

22. Shacklein S.V., Rogova T.B., Aksenov V.V., Pisarenko M.V. (2024) Updating of recommendations on the well network density in coal exploration *Subsoil Use of the XXI century*, 5-6 (106), 46-53 [in Russian].

23. Solovitskiy A. N., Sazonov V. S. (2024). On mathematical support for the geological assessment of coal deposits. *In Sbornik nauchnykh statey po materialam XXXVII nauchno-prakticheskoy konferentsii Akruialinie voprosy sovremennoy nauki i obrazovaniya [Proceedings of the XXXVII International Scientific and Practical Conference Topical issues of modern science and education]* (pp. 191-194). Penza: ICNS Science and Education Publ. [in Russian].

24. Sazonov V. S., Solovitskiy A. N. (2025) Methodology for analyzing the accuracy of cartographic support in traditional technology of geological assessment of coal deposits *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 30 (5), 78-88. - DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-78-88 [in Russian].

Об авторах

Александр Николаевич Соловицкий – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и географии.

Валентин Сергеевич Сазонов – аспирант кафедры геологии и географии.

Author details

Aleksandr N. Solovitskiy – DSc, Professor, Department of Geology and Geography.

Valentin S. Sazonov – PhD Student, Department of Geology and Geography.

Получено / Received 26.01.2026

Поступила после рецензирования / Revised 26.02.2026

Принята к публикации / Accepted 20.04.2026