

УДК 528.9:553.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-78-88

Методика анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений

В. С. Сазонов¹, А. Н. Соловицкий¹✉

¹ Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

e-mail: san.mdig@mail.ru

Аннотация. Установлено, что получение новой достоверной информации на основе карт о пространственном распределении угольных пластов, количестве и качестве угля определяет эффективность его добычи. Выделена недостаточная освещенность достоверности и сопоставимости геологических материалов на разных стадиях разведки, в том числе из-за точности картографического обеспечения, что свидетельствует о наличии проблемной ситуации. Для ее решения сформулирована цель исследования, которая заключается в разработке методики анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений. На практике реализация предложенной методики обеспечивает рациональное освоение участка недр и эффективность проектных решений. Сделаны выводы о значимости анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений, что немаловажно для обеспечения ее преемственности.

Ключевые слова: подсчет запасов, картографические материалы, геологическая оценка, картометрические показатели, угольные месторождения

Для цитирования:

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

Введение

Основные задачи картографического метода исследований актуальны и широко применимы во всех сферах реальной экономики [1–3]. Так, например, в геологии актуальность создания новых карт сомнений не вызывает, как и получение по ним новых знаний о геологических процессах, а также месторождениях полезных ископаемых [4–8]. При этом данные, полученные на основе карт и планов, несут достоверную информацию о пространственном распределении угольных пластов, количестве и качестве угля, что является основой для разработки эффективных схем его добычи и использования [9, 10]. Использование картографических материалов в традиционной технологии подсчета запасов угольных месторождений является неотъемлемой частью картографиче-

ского метода исследования и получения новых знаний для освоения недр [11]. В этом контексте значительный вклад в развитие данной области науки внесли работы следующих ученых: М. И. Агошкова, А. С. Астахова, А. Х. Бенуни, В. А. Букринского, В. С. Веселовского, А. М. Журавлевского, А. Б. Каждана, В. Р. Клера, В. М. Крейтера, А. М. Марголина, М. В. Писаренко, Е. О. Погребницкого, Т. Б. Роговой, П. К. Соболевского, Н. Н. Соловьева, С. В. Шаклеина, М. В. Шумилина и др. [12–14]. Их исследования формируют не только теоретическую базу, но и методологию, которая активно применяется в картографическом обеспечении геологической оценки месторождений.

Авторы проанализированных публикаций подчеркивают многообразие подходов к обобщению данных о запасах угля, а также важ-

ность качественного анализа этих ресурсов и их картографического обеспечения. Например, некоторые исследования [15–20] акцентируют внимание на масштабах запасов, их распределении по территории и качественном составе, что позволяет лучше понять экономическую целесообразность разработки участков недр. Традиционно в методике геологической оценки угольных месторождений уделяется внимание геометризации угольных пластов и оконтуриванию месторождений [21–23]. В работах ряда ученых [24–27] подчеркивается недостаточная освещенность точности подсчета запасов, а также достоверности геологических материалов, в том числе и картографического обеспечения, что является одной из важных задач в горном деле. Таким образом, картографическое обеспечение не только отражает точность подсчетов запасов угля, но и способствует более эффективному управлению ресурсами, что в свою очередь имеет важное значение для устойчивого развития угольной отрасли в целом. Поэтому целью исследования является разработка методики анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений, что включает в себя изучение различных картографических инструментов, таких как графическая точность топографических карт, которые используются для моделирования и оценки запасов угля.

Рассмотрим структурное и кадровое обеспечение геологической оценки угольных месторождений в Кузбассе и ее картографического обеспечения. В настоящее время в регионе работает порядка 20 фирм, которые занимаются геологической оценкой месторождений («Кузбассгипрошахт», «Сибгеопроект», «Недра Кузбасса», «Южно-Кузбасское геологоразведочное управление» («ЮжКузбассГРУ»), «СибНИИУглеобогашение», «Сибирский институт горного дела» и многие другие). При этом подготовка кадров для картографирования территорий была организована в прошлом веке в Кузбасском техникуме архитектуры, геодезии и строительства (КузТА-ГИС) [28]. А подготовка кадров высшей квалификации по геоинформатике и картографии в Кузбассе была организована в Кеме-

ровском государственном университете. Несмотря на значительные достижения в области картографических и геологических исследований и технологий в Кузбассе, авторы работы подчеркивают наличие проблемной ситуации, связанной с недостаточной освещенностью преемственности и сопоставимости результатов традиционных методов подсчета запасов угольных месторождений, которые проведены на разных этапах разведки и на различном картографическом обеспечении. Эта ситуация становится особенно актуальной в свете использования разномасштабных и разновременных карт, учет которых способен значительно повысить достоверность таких оценок.

Важность и востребованность разработки методики анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений в Кузбассе обусловлена чрезвычайно большим объемом разнородной информации, который мало изучен и слабо обобщен [29]. Таким образом, тема данного исследования обладает высокой актуальностью и представляет интерес как для научного сообщества, так и для практиков в области картографии, геологии и горного дела. В условиях растущего спроса на угольные ресурсы и необходимости их эффективного использования важно разработать методику анализа точности картографического обеспечения при оценке запасов угольных месторождений, что будет способствовать не только экономической эффективности, но и устойчивому развитию отрасли в целом.

Методы и материалы

Анализ точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений включает триединую задачу:

- изучение геологических условий;
- установление кондиций и оконтуривания месторождения;
- расчет количественных показателей объемов и запасов.

Представление в конкретной точке геологических условий горного массива пород, а также установление кондиций и контура

месторождения опирается прежде всего на графическую точность используемых карт. В практике проектирования горнодобывающих предприятий широко используется разнообразный картографический материал, графическая точность которого в зависимости от его масштабов приведены на рис. 1.

Картографическое обеспечение характеризуется картометрическими показателями. Их точность при изучении геологических условий, установлении кондиций и оконтуривании месторождения не ограничивается только величинами картографическими погрешностями карт; не менее важную роль играет определение шага сбора и представления соответствующей информации. Для опреде-

ления указанного шага авторы предлагают учесть изменения (производные) параметров геологических условий и установления кондиций. Предлагаемая расчетная величина шага dr_i представления информации на карте имеет следующий вид [30]:

$$dr_i = \frac{3m_{si}}{\partial P_i / \partial si}, \quad (1)$$

где m_{si} – средняя квадратическая погрешность точки на карте;

$\partial P_i / \partial si$ – производные параметров (геологических условий и установления кондиций).

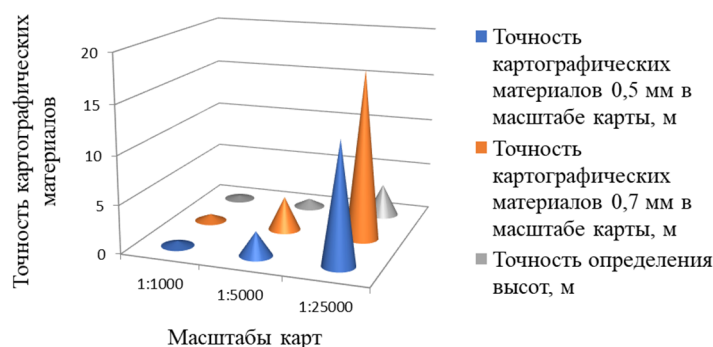


Рис. 1. Графическая точность картографических материалов в зависимости от масштабов

Средняя квадратическая погрешность определения запасов m_Q в зависимости от точности картографических материалов имеет вид [31]

$$m_Q^2 = \sum_{i=1}^n (m_i^2 m_S^2(k) + S_i^2 m_{\gamma i}^2 + S_i^2 m_H^2(k)), \quad (2)$$

где m_i – мощность подсчетного блока;

S_i – площадь подсчетного блока;

$m_{\gamma i}$ – средняя квадратическая погреш-

ность определения объемного веса;

$m_S(k)$ – средняя квадратическая погрешность определения площади на картах разных масштабов (см. рис. 1);

$m_H(k)$ – средняя квадратическая погрешность определения высот на картах разных масштабов (см. рис. 1).

Средняя квадратическая погрешность определения запасов в зависимости от точности определения объемного веса имеет следующий вид:

$$m_Q^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2 m_{\gamma i}^2. \quad (3)$$

Средняя квадратическая погрешность определения объема m_V от точности картографических материалов имеет следующий вид:

$$m_V^2 = \sum_{i=1}^n \left(S_i^2 m_H^2(k) + m_i^2 m_S^2(k) \right). \quad (4)$$

Математические зависимости (2)–(4) использованы авторами для оценки и анализа определения запасов в зависимости от точности картографических материалов.

Методика анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений включает:

- выбор соответствующего масштаба;
- установление точностных характеристик картометрических показателей;
- расчеты точностных показателей объемов и запасов по картометрическим показателям;
- определение изменений (производных) параметров геологических условий и кондиций;
- расчет величины шага представления информации на карте с заданной точностью.

Выполненный анализ картографического обеспечения геологической оценки угольных месторождений позволил выявить следующие его особенности.

1. Отмечено многообразие геологических карт при геологической оценке и проведена их классификация, что свидетельствует о расширении применения картографических знаний в области геологии. Показано, что важным средством познания является тесная связь этих карт со многими геологическими и картографическими методами и обеспечение преемственности разных стадий геологической оценки.

2. Показана тесная связь геологических карт и их основы – топографических карт. Разнообразие и обширность картографического обеспечения подтверждена исследованиями многих авторов: А. М. Берлянта, Т. В. Верещака, А. П. Гука, А. Т. Зверева, Л. К. Зяtkовой, И. Г. Журкина, А. П. Карпика, Ю. Ф. Книжникова, А. В. Комиссарова, Е. Л. Кринова, П. Кронберга, Д. В. Лисицкого, В. А. Малинникова, В. А. Мелкого, О. Н. Николаевой, В. П. Пяткина, В. П. Савиных, В. С. Тикунова, Л. К. Трубиной, Т. А. Хлебниковой, Д. А. Шаповалова, Е. Г. Ширяева,

С. С. Янкелевич, Amani M., Buckley A., Komárek J., Moore N., Teltscher K., Tobler W., Turner W., Wang K. и др. [32].

Результаты и обсуждение

Для реализации разработанной авторами методики анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений авторами были проведены исследования картографических материалов на примере шахтного поля шахты «Южная Глубокая» Талдинского каменноугольного месторождения (рис. 2).

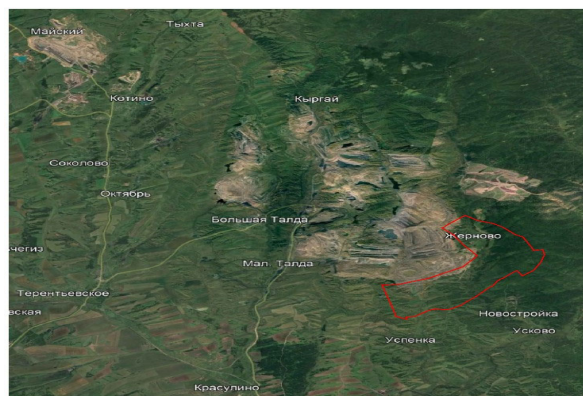


Рис. 2. Обзорная схема изучаемого участка

Угленосные отложения в пределах исследуемого участка недр представлены грамотинской свитой ерунаковской подсерии кольчугинской серии верхней перми. Угольная толща на разведанной площади имеет пологое залегание, с углами падения от 7 до 21°. Разведка произведена вертикальными скважинами. В районе работ свита содержит 8 пластов: тонких (до 1,2 м) – 2; средних (1,21–4,50 м) – 4; мощных (более 4,5 м) – 3. К выдержанным относятся 7 пластов из 8. Угленосные отложения перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями мощностью от 0,5–10 до 25–32 м. Отложения представлены суглинками в верхней части и глинами – в нижней части толщи. Участок по сложности геологического строения относится к 1-й группе.

На практике горнодобывающими предприятиями широко используется метод гео-

логических блоков при подсчете запасов угля. При использовании указанного метода определены подсчетные блоки, различающиеся по степени разведанности, мощности угольных пластов, технологическим свойствам, горнотехническим и гидрогеологическим условиям. Подсчетные блоки выделены авторами с учетом принципа однородности пласта по качеству угля, мощности, морфологии и условиям залегания пласта, включая:

- степень изученности параметров и разведанности угля;
- приуроченность к единому структурному элементу;
- выдержанность элементов залегания угольного пласта;
- однородность геологических и горногеологических условий месторождения;
- учет регламентированности требований согласно методическим указаниям и инструкциям;
- наличие разнообразного объема картографических материалов.

Для проведения подсчета запасов углей исследуемое месторождение было разбито на 19 отдельных фигур (подсчетных блоков), средняя мощность которых приведена на рис. 3.

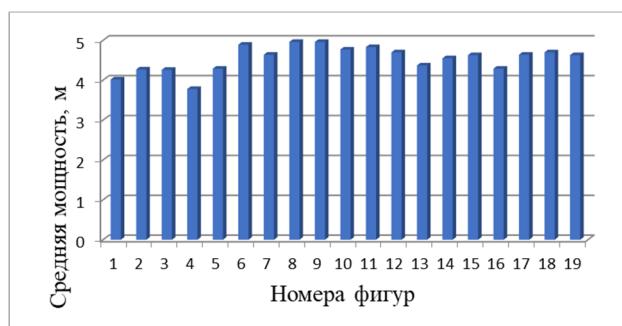


Рис. 3. Средняя мощность отдельных фигур при подсчете запасов

Для проведения анализа авторами выявлены средние квадратические погрешности определения запасов (тонн) и объема (кубических метров) согласно методике (2)–(4) в зависимости от масштаба картографических материалов и определения объемного веса (рис. 4).

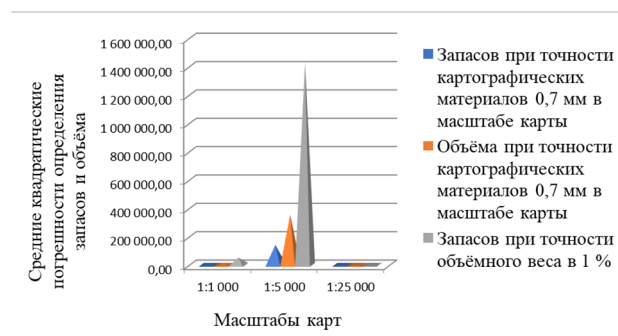


Рис. 4. Средние квадратические погрешности определения и объема (м³)

Средняя мощность угля отдельных фигур подсчетных блоков варьировалась от 3,78 до 4,96 м, а их площади – от 25 544 до 190241 м². Подсчет запасов угля был выполнен на основе бурения скважин. Плотность разведочной сети составила 38,4 скважин/км². Расстояние между профилями варьируется в пределах 140–530 м, между скважинами на профилях 15–400 м.

Величина запасов углей согласно выполненным расчетам равна 1 752 312 245 тонн. Расчет величины шага представления информации на карте с заданной точностью выполнен авторами согласно (1) и приведен в таблице.

Расчетные расстояния между точками на карте при условии обеспечения графической точности

Масштаб	Расчетные расстояния между точками на карте при точности картографических материалов 0,5 мм в масштабе карты, м	Расчетные расстояния между точками на карте при точности картографических материалов 0,7 мм в масштабе карты, м
1 : 25 000	340,9	477,3
1 : 10 000	136,2	190,9
1 : 5 000	68,2	95,4
1 : 2 000	27,3	38,2
1 : 1 000	13,6	19,1

В отличие от традиционной методики, величина запасов углей согласно предложениям авторов характеризуется не только количественной характеристикой, но и погрешностью масштаба карты и определения объемного веса. Эта дополнительная информация обеспечивает не только более корректное сопоставление полученного результата с другими, соответствующими разным этапам оценки, но и позволяет перейти от среднего значения между ними к средневесовому.

Выполненный авторами анализ точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений на примере шахтного поля шахты «Южная Глубокая» Талдинского каменноугольного месторождения свидетельствует о том, что выбор масштаба карты определяет:

- установление точностных характеристик картометрических показателей;
- точностные показатели объема и запасов углей;
- величину шага представления информации на карте.

Заключение

На основе проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

1. Отмечено, что использование картографического обеспечения разных масштабов – это неотъемлемая часть традиционной технологии подсчета запасов угля. Применение указанного картографического обеспечения является расширением использования картографических знаний в геологии, основанных на традиционных принципах создания геологических карт: вещественном, структурном, историческом.

2. Установлена информационная функция геологических карт в рамках предложенной авторами классификации и возможность расширения ее использования на основе точностных характеристик моделей.

3. Методика анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений является многоаспектной и определяет зависимости установления точностных характеристик картометрических показателей, объема и запасов углей и величины шага представления информации на карте от выбора ее масштаба, обеспечивая преемственность и сопоставимость разных ее стадий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Исследование мировых трендов и обоснование направлений развития сферы геодезии и картографии РФ до 2030 года // *Геопрофи.* – 2021. – № 1. – С. 4–11.
2. 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.
3. Захаров М. С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии. – М.: Лань, 2017. – 435 с.
4. Пруцкий Н. И., Январев Г. С. Геологическое картирование. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – 164 с.
5. Бурдэ А. И., Стрельников С. И., Межеловский Н. В. Три века геологической картографии России. – М., СПб.: 2000. – 439 с.
6. Петров О. В., Вербицкий В. Р., Киселев Е. А., Путинцев В. К., Кротова-Путинцева А. Е. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (история создания, итоги и задачи работ). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 79 с.
7. Жумаханкызы Н., Нурпеисова М. Б. Методика создания геологических карт // *Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию академика А. Ж. Машанова «Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии» 18–19 марта 2022 г.* – Алматы: КазНУ им. К. И. Сатпаева, 2022. – С. 84–91.
8. Nurpeisova M. B., Bitimbayev M. Zh., Rysbekov K. B., Shults R. Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of*

Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – Vol. 6. – P. 194–202. – DOI 10.32014/2020.2518–170X.147.

9. 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.

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

11. Сендерзон Э. М. Методика разведки угольных месторождений Кузбасса. – Кемерово : Кемер. кн. изд-во, 1978. – 235 с.

12. Букринский В. А. Геометрия недр. – М. : МГТУ, 2002. – 549 с.

13. Сазонов В. С. О развитии методологической основы геологической оценки угольных месторождений Кузбасса // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты : материалы симпозиума XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 23 апреля 2024 г. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 203–208.

14. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б., Писаренко М. В. О неопределенности (достоверности) геологических материалов, обеспечивающей реализуемость проекта освоения угольного месторождения // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3. – С. 26–37. – DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002.

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

16. Шек В. М., Никулина Ю. В. Интегральный подход подсчета угольных запасов (сравнение с методом С. В. Шаклеина) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № S6. – С. 341–345.

17. Писаренко М. В. Методическое сопровождение комплексной оценки подготовленности угольных месторождений к рациональному промышленному освоению // Рациональное освоение недр. – 2019. – (4). – С. 26–31. – DOI 10.1088/10.26121/ RON.2019.62.28.002.

18. Писаренко М. В. Горно-геометрическое обеспечение оценки достаточности геологической изученности угольного месторождения // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 4. – С. 6–8.

19. Писаренко М. В., Шаклеин С. В. Подход к созданию систем многоуровневых горно-геометрических моделей угольных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. – № 5. – С. 38–41.

20. Писаренко М. В., Шаклеин С. В. Обоснование степени изученности месторождения // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования : материалы IX Международной науч.-практ. конф., 20 декабря 2010 г. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – С. 209–215.

21. Власьевский Л. П. О достоверности геометризации месторождений полезных ископаемых по данным опробования // Маркшейдерский вестник. – 2004. – № 2. – С. 57–62.

22. Кушнарев П. И., Бабина Т. О. Влияние точности анализа на результаты оконтуривания рудных тел // Недропользование XXI век. – 2015. – № 5 (55). – С. 86–95.

23. Сессорова Е. Н. Влияние погрешности оконтуривания на точность подсчета запасов полезного ископаемого // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 70–72.

24. Rendu J.-M. Risk management in Evaluating Mineral Deposits. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. – 2017. – 310 p.

25. Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Достоверность запасов угольных месторождений. Количественная оценка и мониторинг. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2011. – 508 с.

26. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б., Писаренко М. В. О неопределенности (достоверности) геологических материалов, обеспечивающей реализуемость проекта освоения угольного месторождения. Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3. – С. 26–37. – <https://doi.org/10.26121/RON.2022.16.62.002>.
27. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. Recommendations on integrated evaluation of preparedness of coal deposits for mining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 262 (1). – 012067. – DOI 10.1088/1755-1315/262/1/012067.
28. Писаренко М. В., Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Учет неопределенности интерпретации данных при компьютерном построении горно-геометрических моделей угольных месторождений // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 5. – С. 19–26.
29. Федотов Г. С., Январев Г. С. Объемное цифровое моделирование геологических тел в процессе разведки : учебное пособие. – М. : Горная книга, 2021. – 168 с.
30. Соловицкий А. Н. Геодинамический анализ : монография. – Кемерово : КузГТУ, 2001. – 158 с.
31. 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 : Наука и Просвещение. – 2024. – С. 191–194.
32. Лисицкий Д. В., Кацко С. Ю. Назначение и особенности цифрового картографического изображения в геоинформационном картографировании // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 4, ч. 1. – С. 22–28.

Об авторах

Валентин Сергеевич Сазонов – аспирант кафедры геологии и географии.

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

Получено 13.03.2025

© В. С. Сазонов, А. Н. Соловицкий, 2025

Evaluating cartographic accuracy in conventional geological assessment of coal deposits

V. S. Sazonov¹, A. N. Solovitsky¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

e-mail: san.mdig@mail.ru

Abstract. The study addresses the problem of insufficient reliability and comparability of geological data during different stages of coal deposit exploration, largely influenced by the accuracy of cartographic support. To overcome this, a methodology for analyzing cartographic accuracy within traditional geological assessment practices was developed. Its application ensures more rational use of open-pit mine and subsurface resources and enhances the effectiveness of design solutions. The findings highlight the significance of cartographic accuracy analysis as a key factor in maintaining continuity and reliability in the geological evaluation of coal deposits.

Keywords: reserves calculation, cartographic materials, geological assessment, cartometric indicators, coal deposits

REFERENCES

1. Karpik A. P., Lisitsky D. V. (2021) Research of world trends and substantiation of the directions of development sphere of geodesy and cartography Russian Federation 2030 *Geoprofi [Geoprofi]*, 1, 4–11. ISSN 2306-8736 [in Russian].
2. 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].
3. Zakharov M. S. (2017). *Kartografisheckyy metod i geinformatsionnyye sistemy v inzhenernoy geology [Cartographic method and geoinformation systems in engineering geology]*. Moscow: Lan Publ., 435 p. [in Russian].
4. Prutsky N. I., Janvarev G. S. (2006). *Geologisheckoe kartirovanie [Geological mapping]*. Novocherkassk: YURSTU Publ., 164 p. [in Russian].
5. Burde A. I., Strelnikov S. I., Mezhelovsky N. V. (2000). *Tti veka geologisheckoy kartografii Rossii [Three centuries of geological cartography of Russia]*. Moscow: SPb Publ., 439 p. [in Russian].
6. Petrov O. V., Verbitsky V. R., Kiselev E. A., Putintsev V. K. & Krotova-Putintseva A. E. (2007). *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (istoriya sozdaniya, itogi i zadachi rabot) [State geological map of the Russian Federation scale 1:1 000 000 (history of creation, results and tasks of work)]*. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 79 p. [in Russian].
7. Zhumakhankyzy N., Nurpeisova M. B. (2022). Methods of creating geological maps. In *Sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 115-letiyu akademika A. ZH. Mashanova «Innovatsionnyye tekhnologii v geoprostranstvennoy tsifrovoy inzhenerii» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated 115-letiyu anniversary of Academician A. Zh. Mashanov «Innovative technologies in geospatial digital engineering»]*. (pp. 84–91). Almaty: KazNTU imeni K. I. Satpayev Publ. [in Russian].
8. Nurpeisova M. B., Bitimbayev M. Zh., Rysbekov K. B. & Shults R. (2020). Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences*, 6, 194–202.
9. Zhukovsky Yu. L., Isheisky V. A., Buldysko A. D. & Gotsul Yu. D. (2020). The role of digital technologies in the integrated development of solid mineral deposits. In *Sbornik nauchnykh statey po materialam VII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Nauchny megdistsiplinaryny issledovaniy [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. "Digital Science"]* (pp.14–19). Saratov: Scientific public organization digital science Publ. [in Russian].
10. Baranov Yu. B., Grushin R. V. (2006) Geoinformation technologies in geology and subsoil use. *Geoprofi [Geoprofi]*, 2, 4–7 [in Russian].
11. Senderzon E. M. (1978). *Metodika razvedki ugolinykh mestorogdeniy [Methods of exploration of coal deposits in Kuzbass]*. Kemerovo: Kemer Publ., 235 p. [in Russian].
12. Bukrinsky V. A. (2002). *Geometriya nedr [Geometry of the subsoil]*. Moscow: MSTU Publ., 549 p. [in Russian].
13. Sazonov V. S. (2024, April 23). On the development of the methodological basis of the geological assessment of Kuzbass coal deposits. In *Sbornik interdisciplinarnykh podkhodov v biologiyu, meditsinu i nauki o Zemle: teoreticheskiye i primeneniye aspekty: Proceedings of the Symposium of the XIX (LI) [Proceedings of the XIX International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]* (pp. 203–208). Kemerovo: Kemerovo State University Publ. [in Russian].
14. Shaklein S. V., Rogova T. B., Pisarenko M. V. (2022). On the uncertainty (reliability) of geological materials ensuring the feasibility of a coal deposit development project *Ratsional'noye osvoyeniye nedr [Rational development of subsoil resources]*, 3, 26–37. DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002 [in Russian].
15. Rogova T. B., Shaklein S. V., Yarkov V. O. (2010). *Podshet zapasov ugolinykh mestorogdeniy [Calculation of coal deposits]*. Kemerovo: KuzGTU Publ., 112 p. [in Russian].

16. Shek V. M., Nikulina Yu. V. (2011). An integral approach to calculating coal reserves (comparison with the method of S. V. Shaklein) *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and Analytical Bulletin], S6, 341–345. EDN ONOJZJ [in Russian].
17. Pisarenko M. V. (2019). Methodological support for a comprehensive assessment of the preparedness of coal deposits for rational industrial development *Ratsional'noye osvoyeniye nedr* [Rational development of subsoil resources], (4), 26–31. DOI 10.26121/RON.2019.62.28.002 [in Russian].
18. Pisarenko M. V. (2016). Mining and geometric support for assessing the sufficiency of geological exploration of a coal deposit *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 4, 6–8. EDN WJVGOH [in Russian].
19. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2010). An approach to creating systems of multilevel mining and geometric models of coal deposits *Marksheyderiya i nedropol'zovaniye* [Mine surveying and subsoil use], 5, 38–41. EDN: MVZAGP [in Russian].
20. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2011). Substantiation of the degree of exploration of the deposit *In Sbornik po materialam IX nauchno-prakhnicheskoy konferentsii problem geologii, planetologii, geoekologii i ratsional'novo nedropolizovania* [Problems of geology, planetology, geoecology and rational use of Natural resources: proceedings of the IX International Scientific Conference. Practical conference] (pp. 209–215). Novocherkassk: YURGTU Publ. [in Russian].
21. Vlasyevsky L. P. (2004). On the reliability of geometrization of mineral deposits according to testing data *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 2, 57–62. EDN: JWZAZX [in Russian].
22. Kushnarev P. I., Babina T. O. (2015). The influence of the accuracy of the analysis on the results of contouring of ore bodies *Nedropol'zovaniye XXI vek* [Subsoil use XXI century], 5(55), 86–95. EDN: UMTLHZ [in Russian].
23. Sessorova E. N. (2005). The influence of delineation error on the accuracy of calculating mineral reserves *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and Analytical Bulletin], 7, 70–72. EDN IYXMT [in Russian].
24. Rendu J.-M. (2017). *Risk management in Evaluating Mineral Deposits*. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 310 p.
25. Rogova T. B., Shaklein S.V. (2011). *Dostovernost' zapasov ugol'nykh mestorozhdeniy. Kolichestvennaya otsenka i monitoring* [Reliability of coal deposits. Quantitative assessment and monitoring]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ. GmbH and Co. KG. 508 p. [in Russian].
26. Shaklein S. V., Rogova T. B., Pisarenko M. V. (2022). On the uncertainty (reliability) of geological materials ensuring the feasibility of a coal field development project. *Ratsional'noye osvoyeniye nedr* [Rational development of subsoil resources], 3, 26–37. DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002 [in Russian].
27. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2019). Recommendations on integrated evaluation of preparedness of coal deposits for mining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 262. Novosibirsk: Institute of Physics Publ., p. 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/262/1/012067>.
28. Pisarenko M. V., Rogova T. B., Shaklein S. V. (2018). Accounting for the uncertainty of data interpretation in the computer construction of mining and geometric models of coal deposits *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 5, 19–26. EDN: BFRODA [in Russian].
29. Fedotov G. S., Janvarev G. S. (2021). *Obiymnoe tsifrovoye modelirovaniye geologicheskikh tel v protsesy razvedki* [Volumetric digital modeling of geological bodies in the exploration process]. Moscow: Gornaya Kniga Publ., 168 p. [in Russian].
30. Solovitsky A. N. (2001). *Geodynamic analysis* [Geodinamik analiz]. Kemerovo: KuzSTU Publ., 158 p. [in Russian].
31. Solovitsky A. N., Sazonov V. S. (2024). On mathematical support for the geological assessment of coal deposits. *In Sbornik nauchnykh statey po materialam XXXVII nauchno-prakhticheskoy*

konferentsii Aktualnie voprosy sovremenoy 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].

32. Lisitsky D. V., Katsko S. Y. (2005). Purpose and features of digital cartographic images in geoinformation mapping *Geo-Sibir' [Geo-Siberia]*, 4, 22–28. EDN: PUJBNL [in Russian].

Author details

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

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

Received 13.03.2025

© *V. S. Sazonov, A. N. Solovitskiy, 2025*