

УСЛОВИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ БЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ

А. И. Косолапов, В. Е. Кисляков, А. С. Федотов[✉], А. В. Шварцкопф

ФГАОУВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, 660041,

Российская Федерация

✉ ar.fedotow@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты анализа условий разработки Бейского месторождения каменного угля, изучены особенности ведения горных работ при наличии смежных лицензий других недропользователей, оценена применяемая при этом технология. На основе перечисленного сформулированы наиболее существенные технологические и экологические проблемы, влияющие на эффективность разработки месторождения и предложены методы их решения. Представлен анализ результатов реализации проектных решений по разработке месторождения и обобщение опыта их применения. В процессе обобщения опыта совместной разработки отдельных участков месторождения определены следующие проблемы: сложность вскрытия отдельных участков месторождения и доработки целиков между ними; отсутствие свободных площадей вблизи разрезов и ограничения использования выработанного пространства для складирования вскрышных пород. Кроме того, осушение месторождения в определенных условиях может приводить к обезвоживанию открытых водоемов вблизи карьерных полей. Решение этих проблем позволит сократить издержки на горные работы и охрану окружающей среды, снизить техногенную нагрузку на нее и повысить полную выемку запасов.

Ключевые слова: уголь, угольные разрезы, Минусинский угольный бассейн, Бейское месторождение, вскрытие, потери полезного ископаемого, осушение, отвалообразование

Для цитирования: Косолапов АИ, Кисляков ВЕ, Федотов АС и др. Условия и проблемы разработки Бейского месторождения каменного угля. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):25-29. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>.

CONDITIONS AND PROBLEMS OF DEVELOPING THE BEYSKY COAL DEPOSIT

A. I. Kosolapov, V. E. Kislyakov, A. S. Fedotov[✉], A. V. Shwartzkopf

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University»,

Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

✉ ar.fedotow@yandex.ru

Abstract. The main objectives of modern open-pit mining technology are: minimization of negative impact on the environment, increase in safety level of production facilities and completeness of reserves extraction from the subsoil, as well as reduction of economic costs during mining operations. The article presents the results of analysis of conditions of development of Beyskoye coal deposit, studies features of mining operations in the presence of related licenses of other subsoil users, evaluates the technology applied in this case. Based on the above, the most significant technological and environmental problems influencing efficiency of deposit development are formulated and methods for their solution are proposed. The work presents analysis of results of implementation of design solutions for deposit development and generalization of experience of their application. In the process of generalization of experience of joint development of individual sections of the deposit, the following problems were identified: complexity of opening of individual sections of the deposit and finishing of pillars between them; lack of free areas near open pits and limitations of use of developed space for storage of overburden rocks; Under certain conditions, draining of the deposit may lead to dehydration of open water bodies near quarry fields. Solving these problems will reduce the costs of mining operations and environmental protection, reduce the man-made load on it and increase the completeness of the extraction of reserves.

Keywords: coal, open-pit coal mines, Minusinsk coal basin, Beyskoye coal deposit, opening, mineral losses, drainage, waste dumping

For citation: Kosolapov AI, Kislyakov VE, Fedotov AS, et al. Conditions and problems of developing the beysky coal deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):25-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>.

Введение

Бейское месторождение расположено в Республике Хакасия, вблизи городов Абакана (60 км), Минусинска (90 км), Саяногорска (35 км) и Черногорска (85 км).

Район экономически и промышленно развит [1, с. 175]. Большую долю в экономике района занимает угледобывающая отрасль. Железная и автомобильная дороги обеспечивают связь с промышленными районами Сибири. Железнодорожные ветви имеют связь посредством Транссибирской магистрали с Кузбассом, Забайкальем и Дальним Востоком.

На Бейском месторождении активно ведут добычу угля открытым способом. Оно разделено на семь участков, имеющих смежные границы (рис. 1). Участки принадлежат разным недропользователям, которые ведут их независимое освоение в соответствии с лицензиями.

В 2022 году в Минусинском угольном бассейне было добыто 26,8 млн т, что составило 11 % от общего объема угля (437 млн т.), добытого в РФ [2].

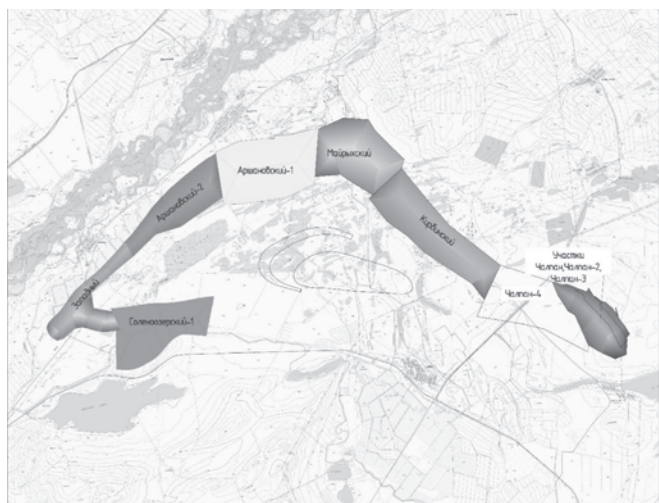


Рис. 1. Схема деления месторождения на участки /
Fig. 1. Scheme of dividing the field into areas

Горно-геологические условия разработки

Месторождение представлено пачками пластов, имеющих слабонаклонное, наклонное и крутое падение при значительной вариации мощности отдельных пластов и изменчивости зольности углей от 6 до 35 %. Месторождение обводнено, а для выемки угля его необходимо дробить буровзрывным способом.

Наиболее полно проблемы, перечисленные выше, характерны для Майрыхского, Кирбинского и участка Чалпан.

На большей части площади участка гравийно-галечниковая толща перекрывается суглинками и супесями с дресвой и галькой, на площади озер – озерными илами. Коренными породами являются угленосные отложения Черногорской свиты (верхняя пачка) и Побережной свиты.

На участках Майрыхском и Кирбинском строение пластов в большинстве своем сложное, редко – простое. Углы падения пластов, где произведено вскрытие, в среднем составляют 8–12° и увеличиваются до 40° на противоположном фланге мульды [3]. В большинстве случаев мощность междупластий составляет от 1 до 10 метров, а местами достигает 40 метров.

Участок Чалпан представляет собой многопластовую осадочную толщу, включающую 16 пластов мощностью от

0,1 до 11,45 м. Глубина залегания пластов изменяется в интервалах от 3 до 190 м. Угольные пласты относительно выдержанные и невыдержанные. Часть пластов имеет площади слияния с соседними пластами, и в таком случае они выделены как единая выемочная единица.

В процессе проектирования для участков Майрыхского и Кирбинского было условно выделено две группы пластов: верхняя группа пластов (ВГП) и нижняя группа пластов (НГП), разделенных междупластьем со средней мощностью 65 м.

Характерные геологические разрезы по участкам представлены на рисунке 2.

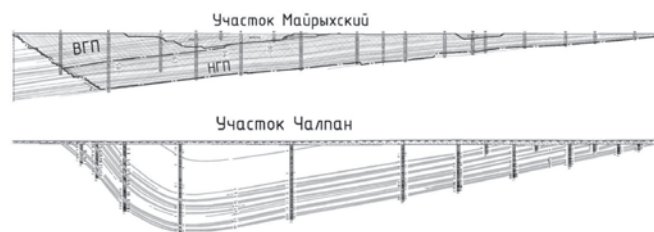


Рис. 2. Характерные геологические разрезы
(Участки Майрыхский и Чалпан) /

Fig. 2. Characteristic geological sections (Mayrykhsky and Chalpan areas)

Мощность пластов участков изменчива. По каждой из групп пластов выделены наиболее мощные пласты, на которых сконцентрирован основной объем работ. Суммарная мощность по верхней и нижней группе пластов соответственно превышает 40 и 20 метров.

Зольность по пластам варьируется в диапазоне от 5 до 35 %. При этом большая часть пластопересечений имеет зольность от 5 до 25 %.

Учитывая мощность междупластья, разделяющую пласты, выделены две группы пластов, которые разрабатывают разными рабочими зонами с перспективой объединения их в одну.

На участке Чалпан мощность пластов распределена следующим образом: мощность более 2 м встречается в 55 % пластопересечений; мощность от 1 до 2 м – 17,8 % пластопересечений; мощность до 1 м – 26,3 % пластопересечений.

Зольность по опробованным пластопересечениям не превышает 35 %.

Существующая технология и порядок разработки

В настоящее время поля участков вскрыты для открытого способа разработки с использованием транспортной (участки Майрыхский и Кирбинский) и комбинированной (участок Чалпан) системы разработки, согласно классификации Н. В. Мельникова [4, с. 22], а по В. В. Ржевскому, применяемая система разработки классифицирована как сплошная [5, с. 109].

На участках Майрыхском и Кирбинском работы ведут гидравлическими экскаваторами с погрузкой в автосамосвалы различной грузоподъемности. Большую часть вскрышных пород складывают на внешних отвалах несмотря на то, что уже есть возможность использовать выработанное пространство.

Участок Чалпан разрабатывают по комбинированной системе разработки. Добычные работы ведут гидравлическими экскаваторами с объемом ковша от 4 м³ с погрузкой в автосамосвалы для транспортирования угля до перегрузочного

пункта. На вскрышных работах применяют гидравлические экскаваторы с объемом ковша от 6 до 22 м³ типа прямая и обратная лопата. Надугольную вскрышу нижних пластов отрабатывают по бестранспортной системе разработки экскаваторами ЭШ 10/70.

Учитывая высокую производственную мощность предприятия, качество и производительность угольных пластов [6, с. 314], основной объем работ сконцентрирован на ВГП. Несмотря на то, что при этом коэффициент вскрыши в ближайшие годы эксплуатации по ВГП выше, чем по НГП (рис. 3). Это позволяет повысить эффективность разработки за счет минимизации организационных и технологических издержек при концентрации работ на более мощных пластах. Кроме этого, на локальных участках ВГП уголь имеет высокую calorificity и не требует обогащения.

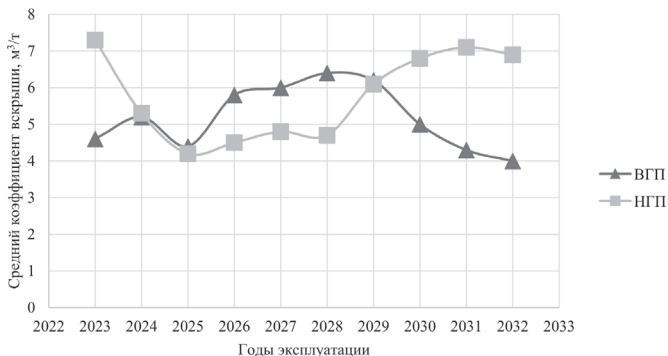


Рис. 3. Изменение плановых коэффициентов вскрыши с течением времени по группам пластов /
Fig. 3. Changes in planned stripping ratios over time by seam groups

Месторождение разрабатывает несколько недропользователей, и по мере продвижения фронта горных работ практически у всех имеются сложности из-за складирования вскрышных пород в выработанное пространство [7]. Большую часть вскрыши они транспортируют на внешние отвалы, расположенные за техническими границами разрезов. Это связано с различной интенсивностью выемки запасов по разным группам пластов [8]. При этом по мере продвижения фронта горных работ растет расстояние транспортирования вскрышных пород из-за постоянного удаления мест ведения горных работ от отвалов. В свою очередь складирование пустых пород при размещении их в торцах участков невозможно из-за наличия смежных лицензионных границ других недропользователей. В таких стесненных условиях пользователи недр вынуждены размещать необходимые объекты инфраструктуры на запасах полезного ископаемого и предусматривать их периодический перенос.

Горные работы на участке Майрыхском осложнены наличием вблизи него технических границ озер Турпанье и Майрыхколь (рис. 4) и нескольких безымянных озер, а часть утвержденных запасов расположены под озером. В результате вблизи озер образуется депрессионная воронка, возникающая при отведении карьерных вод. Необходимость осушения озер для разработки запасов и расположения отвалов вскрышных пород негативно влияет на водный баланс района. Уже в настоящее время отмечено высыхание озер с перспективой полного исчезновения. Во избежание этого необходимы мероприятия по искусственной подпитке озер для восстановления водного баланса района.



Рис. 4. Схема технических границ и положение озер /
Fig. 4. Scheme of technical boundaries and position of lakes

Наиболее полно данную проблему можно решить с использованием гидроизолирующих завес или барражей. В свою очередь их применение требует тщательного изучения гидрогеологических условий разработки месторождения.

Кроме этого, из-за деления месторождения на участки на их границах остаются целики угля, которые в силу бюрократических и технологических ограничений сложно доработать [9, 10]. Причем запасы, остающиеся в целиках между лицензионными участками после их доработки, составляют десятки миллионов тонн кондиционного угля, но возможность их промышленного освоения недропользователи, как правило, не рассматривают. Вместе с тем закон «О недрах» предписывает обязательность полного извлечения запасов. Для их разработки необходимо на основе научных исследований разрабатывать проектные решения, учитывающие особенности строения и конфигурацию межкарьерных (пограничных) целиков и проектные решения при освоении основной части месторождения.

Заклучение

1. В процессе анализа условий разработки Бейского месторождения выявлены проблемы, которые не позволяют эффективно и полноценно извлекать полезное ископаемое, а также наносят экологический вред району ведения работ [11–1]. Поэтому необходимо разрабатывать и внедрять новые подходы к решению выявленных проблем [13–15].

2. При выборе схемы вскрытия и обосновании порядка разработки участков Бейского угольного месторождения, имеющих смежные границы, необходимо оценивать варианты с точки зрения качественных характеристик полезного ископаемого, технологических возможностей, экономической целесообразности и воздействия на окружающую среду. Кроме того, оптимальное значение скорости подвигания горных работ по группам пластов должно обеспечивать минимизацию издержек и воздействия на окружающую среду за счет рационального использования выработанного пространства для размещения отвалов и концентрации работ в разных группах пластов.

3. Горные работы на отдельных участках месторождения осложнены наличием вблизи их технических границ озер, а часть утвержденных запасов расположены под ними. Не-

обходимость осушения озер для разработки запасов и расположения отвалов вскрышных пород негативно влияет на водный баланс района. Во избежание этого необходимы мероприятия по искусственной подпитке озер и использованию гидроизолирующих завес или барражей.

4. При делении месторождения на участки на их границах остаются целики угля, которые в силу определенных

ограничений очень сложно доработать. Это предопределяет потери запасов, которые составляют десятки миллионов тонн кондиционного угля. Для их разработки необходимо разрабатывать проектные решения, учитывающие особенности строения и конфигурацию межкарьерных (пограничных) целиков и проектные решения при освоении основной части месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Угольная база России. Т. III: Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (Красноярский край, Канско-Ачинский бассейн; Республика Хакасия, Минусинский бассейн; Республика Тыва, Улугхемский бассейн и др. месторождения; Иркутская область, Иркутский бассейн и угольные месторождения Предбайкалья). Москва, 2002: 488.
The coal base of Russia. Vol. III: Coal basins and deposits of Eastern Siberia (Krasnoyarsk Territory, Kansk-Achinsk basin; Republic of Khakassia, Minusinsk basin; Republic of Tyva, Ulughem basin and other deposits; Irkutsk Region, Irkutsk basin and coal deposits of Cis-Baikal region). Moscow, 2002: 488.
2. Петренко ИЕ. Итоги работы угольной промышленности России за 2022 год. *Уголь*. 2023;3:21-33.
Petrenko IE. Results of the coal industry of Russia for 2022. *Coal*. 2023;3:21-33. (In Russ.). doi: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33.
3. Барский АА, Косолапов АИ, Аверьянов АГ и др. История и условия разработки основных месторождения каменного угля Минусинского угольного бассейна. *Известия УГТУ*. 2021;3(63):96-106.
Barsky AA, Kosolapov AI, Averyanov AG, et al. History and conditions for the development of the main coal deposits of the Minusinsk coal basin. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2021;3(63):96-106. (In Russ.).
4. Мельников НВ. Краткий справочник по открытым горным работам. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 1982:414.
Melnikov NV. Brief Handbook of Opencast Mining, 4th ed., revised and enlarged. Moscow, 1982: 414. (In Russ.).
5. Трубецкой КН, Потапов МГ, Виницкий КЕ и др. Открытые горные работы: справочник. Москва: Горное бюро, 1994: 590.
Trubetskoys KN, Potapov MG, Vinitsky KE, et al., Handbook. Opencast Mining: Moscow, 1994: 590 p. (In Russ.).
6. Мельников НВ, Воронина ЛД, Демидюк ГП. Горное дело: терминологический словарь. Москва: Недра, 1974: 528.
Melnikov NV, Voronina LD, Demiduk GP. Mining: Terminological Dictionary. Moscow, 1974: 528 p. (In Russ.).
7. Das R, Topal E, Elham Mardaneh E. A review of open pit mine and waste dump schedule planning. *Resources Policy*. 2023;85:366-72. doi: 10.1016/j.resourpol.2023.104064.
8. Левченко ЯВ, Ворошилин КС, Казаков ВА и др. Формирование контуров открытых горных работ на угольных месторождениях, представленных свитами пластов. *Уголь*. 2019;5:43-7.
Levchenko YaV, Voroshilin KS, Kazakov VA, et al. Formation of open pit mining contours at coal deposits represented by seam suites. *Coal*. 2019;5:43-7. (In Russ.). doi: 10.18796/0041-5790-2019-5-43-47.
9. Ромашкин ЮВ. Доработка запасов карьерных полей угольных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;10:70-4.
Romashkin YuV. Processing of quarry reserves of coal deposits. *Mining information and analytical bulletin*. 2012;10:70-4. (In Russ.).
10. Садов ДВ, Дубина ЕМ. Технология доработки угля с борта разреза: сб. тр. VII Межд. науч.-практ. конф. Москва, 2020: 127-32.
Sadow DV, Dubina EM. Technology of coal processing from the side of the open pit. *Collection of works of the VII International scientific and practical conference*. Moscow, 2020: 127-32. (In Russ.).
11. Xiaochuan Xu, Xiaowei Gu, Qing Wang, et al. Ultimate pit optimization with environmental problem for open-pit coal mine. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023;173:366-72. doi: 10.1016/j.psep.2023.03.024.
12. Баязин ИВ. Анализ динамики разработки Бейского угольного месторождения в Койбальской степи (Республика Хакасия) с применением дистанционных методов исследования. *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. 2020;3-15.
Balyazin IV. Analysis of the dynamics of development of the Beyskoye coal deposit in the Koibalskaya steppe (Republic of Khakassia) using remote sensing methods. *Bulletin of Irkutsk State University*. 2020:3-15. (In Russ.). doi: 10.26516/2073-3402.2020.31.3.
13. Баязин ИВ. Влияние угледобывающей промышленности на экологическое состояние Койбальской степи. *Географические исследования Азиатской России и сопредельных территорий: новые методы и подходы: мат.-лы Межд. конф., посв. 70-летию географического факультета ИГУ, Иркутск, 1-3 октября 2019 года*. Иркутск, 2019: 28-32. Balyazin IV. The impact of the coal mining industry on the ecological state of the Koibal steppe. *Geographical studies of Asian Russia and adjacent territories: new methods and approaches: Proceedings of the International Conference dedicated to the 70th anniversary of the Faculty of Geography of Irkutsk State University, Irkutsk, October 1-3, 2019*. Irkutsk, 2019:28-32. (In Russ.).
14. Ryan C. Goodfellow, Roussos Dimitrakopoulos. Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. *Applied Soft Computing*. 2016;40:292-304. doi: 10.1016/j.asoc.2015.11.038.
15. Cohen MW, Coelho VN. Open-Pit Mining Operational Planning using Multi Agent Systems. *Procedia Computer Science*. 2021;192:1677-86. doi: 10.1016/j.endm.2012.10.031.
16. Liu G, Guo W, Chai S, et al. Research on production capacity planning method of open-pit coal mine. *Sci. Rep*. 2023;13:8676. doi: 10.1038/s41598-023-35967-y.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Иннокентьевич Косолапов –

д-р техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация, e-mail: kosolapov1953@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Виктор Евгеньевич Кисляков –

д-р техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация

Артём Сергеевич Федотов –

аспирант кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация, e-mail: ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Андрей Валериевич Шварцкопф –

аспирант кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация

Критерии авторства / Contribution:

А. И. Косолапов – генерация идеи, постановка задачи исследования; **В. Е. Кисляков** – редакция текста рукописи; **А. С. Федотов** – оформление рукописи, анализ исходных данных исследования; **А. В. Шварцкопф** – сбор данных для исследования, анализ полученной информации, формулирование выводов / **A. I. Kosolapov** – idea generation, research problem statement; **V. E. Kislyakov** – manuscript text editing; **A. S. Fedotov** – manuscript design, analysis of initial research data; **A. V. Schwarzkopf** – research data collection, analysis of obtained information, formulation of conclusions.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.11.2024.

Поступила после рецензирования: 14.01.2025.

Принята к публикации: 15.01.2025.

Article info

Received: 18.11.2024.

Revised: 14.01.2025.

Accepted: 15.01.2025.

ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Kosolapov –

DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Viktor E. Kislyakov –

Dr. Sci., Professor of the Open-pit Mining Department of the Institute of Non-Ferrous Metals of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Artem S. Fedotov –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Andrey V. Schwarzkopf –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation