

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.02:622.342 (001)

ОСОБЕННОСТИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БРАХИСИНКЛИНАЛЬНОГО ТИПА

В. И. Ческидов¹, В. Л. Гаврилов¹, Е. А. Хоютанов², А. В. Резник¹, Н. А. Немова¹

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,

E-mail: cheskid@isd.nsc.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН,

E-mail: batuginan@mail.ru, просп. Ленина, 43, 677980, г. Якутск, Россия

Приведены результаты анализа горно-геологических условий и технологий разработки угольных месторождений брахисинклинального типа. Установлено, что наряду с общими свойствами геологических структур эти залежи имеют ряд характерных особенностей, влияющих на выбор технологических решений по их эффективному освоению открытым способом. Показан подход к обоснованию порядка освоения мульдообразных месторождений и выбору геотехнологий их отработки.

Уголь, брахисинклиналь, горно-геологические условия, открытые горные работы, геотехнологии

DOI: 10.15372/FTPRPI20220405

В России, как и во многих странах мира, уже долгие годы наблюдается устойчивая тенденция увеличения добычи угля открытым способом, удельный вес которого в стране превышает 74 % [1]. Подавляющее число наиболее мощных разрезов расположено на востоке страны в ведущих угледобывающих бассейнах — Кузнецком, Канско-Ачинском, Минусинском, Южно-Якутском. Открытым способом разрабатываются практически все типы месторождений — от горизонтальных до крутопадающих, преимущественно со свитовым залеганием угольных пластов. На разрезах, исходя из горно-геологических условий отрабатываемых залежей, применяются, как правило, транспортные и комбинированные (транспортно-бестранспортные) системы разработки с внешним и внутренним отвалообразованиями вскрышных пород.

Среди многообразия угольных месторождений особый интерес представляют брахисинклинального типа с характерными складками овальной формы, часто ассиметричными. Из наиболее крупных месторождений каменного и бурого угля, добыча которых ведется или намечается открытым способом, выделяются: Талдинское, Кедровско-Крохалевское (Кузбасс), Нерюнгринское, Эльгинское (Южная Якутия), Лучегорское (Амурская область), Черногорское, Бейское (Хакасия), Сырадасайское (Таймыр), Олонь-Шибирское (Бурятия), Харанорское (Забайкалье), Звонкое, Амаамское (Чукотка), Урюпское, Барандатское, Назаровское, Абанское (Красноярский край), Экибастузское, Шубаркольское, Борлинское (Казахстан) и др.

Анализ горно-геологических условий освоения около ста месторождений данного типа свидетельствует об их многообразии. Результаты по наиболее крупным из них представлены в таблице с использованием геологических отчетов, проектных материалов, научных публикаций. Рассмотрены залежи как сравнительно небольшие с малой площадью и ограниченными запасами, так и крупные со значительными размерами и запасами угля в миллиарды тонн. Месторождения располагаются и в равнинной местности, и в гористой с расчлененным рельефом. Они различаются глубинами погружения до дна брахисинклинали, количеством и мощностью пластов, углами их падения, качеством угля [2–8].

Характеристика угольных месторождений брахисинклинального типа

Месторождение, регион	Основные параметры залежи				Характеристика рабочих угольных пластов		
	Площадь, км ²	Максимальная глубина погружения, м	Запасы для открытых работ, млн т	Средний коэффициент вскрыши, м ³ /т	Количество, шт.	Мощность, м	Углы падения, град
Талдинское, Кузбасс	77.5	400	1280.0	5.2	11	1.5–21.0	0–40
Кедровско- Крохалевское, Кузбасс	96.0	450	86.3	8.0	6	2.0–18.0	0–90
Черногорское, Хакасия	228.0	300	370.0	6.5	10	11.3–9.0	0–7
Бейское, Хакасия	300.0	240	3100.0	4.2	40	0.6–25.0	0–60
Бородинское, Красноярский край	150.0	80	1300.0	1.0	2	6.4–53.2	0–5
Олонь-Шибирское, Бурятия	41.0	220	260.0	4.5	10–30	1.3–53.6	0–18
Татауровское, Забайкальский край	50.2	270	510.0	2.1	15	1.8–19.8	0–8
Эльгинское, Якутия	75.0	600	2200.0	4.6	11–13	1.0–17.1	0–10
Экибастузское, Казахстан	75.0	667	4420.0	3.8–6.0	6	134	5–90
Шубаркольское, Казахстан	70.0	250	1640.0	2.2	3	22.0–30.0	0–35
Тавантолгойское, Монголия	165.0	600	1445.0	—	16	2.0–74.0	—

Отработка брахисинклинального типа месторождений может проводиться одним или несколькими карьерными полями, одновременно или рассредоточено, а также одним или рядом разрезов, принадлежащих как одному, так и нескольким недропользователям. В качестве примеров первого варианта можно привести Талдинское и Нерюнгринское месторождения, имеющие площадь 77.5 и 16.0 км² соответственно, каждое из которых отрабатывается одним разрезом. Примеры второго варианта — Экибастузское месторождение (площадь мульды 155 км², осваиваемое разрезами “Северный”, “Богатырь”, “Восточный”, “Экибастузский”) и Эльгинское, на котором в дополнение в действующему разрезу планируется поэтапно ввести еще два на Северо-Западном участке.

Кроме того, при открытой разработке угольных месторождений брахисинклинального типа применяются или предполагаются к применению варианты геотехнологий с использованием различной горной техники. Все это определяет актуальность исследования особенностей их от-

крытой разработки с учетом многообразия горно-геологических условий и широкого спектра реализованных и потенциально возможных геотехнологических схем ведения вскрышных и добычных работ.

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ТАЛДИНСКОГО, ЭЛЬГИНСКОГО И ЭКИБАСТУЗСКОГО УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Талдинское месторождение, расположенное в Ерунаковском геолого-экономическом районе Кузбасса, представляет собой брахисинклиналь с размерами в плане 12×4 км, площадью 77.5 км^2 (рис. 1). Поверхность месторождения — всхолмленная лесостепь, пересекаемая в центральной части двумя речками. Климат района резко континентальный. Для открытой угледобычи пригодна свита из 11 пластов мощностью $1.5\text{--}21.2$ м с углами падения от 0° в замковой части мульды до 40° на ее крыльях. Наибольшую мощность имеют нижние пласты свиты 73–71, 78, 86–84, 78 и верхние — 92, 91. Глубина погружения складки — 400 м. Геологические запасы угля марки ДГ и Г составляют 1.28 млрд т. Литологический состав пород непостоянен и изменяется как по глубине, так и по простиранию залежи. Во вскрышной толще наиболее распространены алевролиты и песчаники (59.5 и 19.4 % соответственно). Коэффициент крепости пород по шкале М. М. Протодяконова 1–4. Средний промышленный коэффициент вскрыши $5.2 \text{ м}^3/\text{т}$. Проектная мощность разреза “Талдинский” — 7.5 млн т/год, производственная — 9.2 млн т/год (2021 г.).

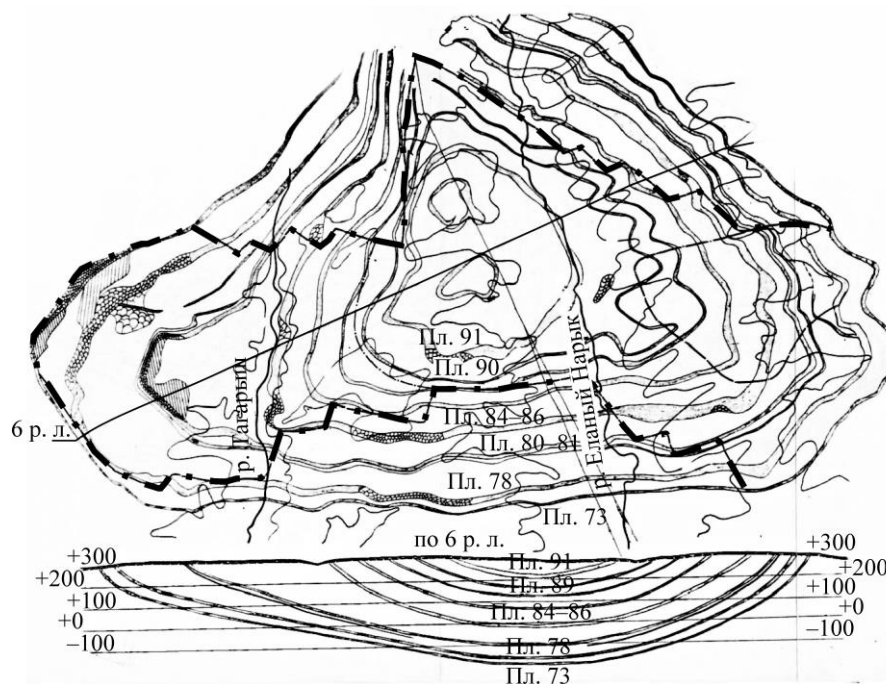


Рис. 1. Талдинское каменноугольное месторождение: план и профиль; — ■ — граница бестранспортной технологии по нижнему пласту свиты (α до 15°)

С учетом горно-геологических условий продуктивной толщи в проекте строительства разреза “Талдинский” ПО “Кузбасскарьеруголь” (“Сибгипрошахт”, 1988 г.) была принята комбинированная система разработки, предусматривающая применение транспортной технологии по верхним пластам на всей площади поля разреза и бестранспортной по междупластьям нижних пластов свиты 73 и 78 с углами их падения до 15° , в основном на Западном и Восточном участках.

Исследования показали, что структура залежи брахисинклинального типа позволяет эффективно использовать эту технологию и по другим пластам свиты. Данное решение, по предложению ИГД СО РАН, было реализовано разрезом “Талдинский” ХК “Кузбассразрезуголь” по верхним угольным пластам 90 и 91 на Центральном участке разреза с формированием в рабочей зоне временных отвалов вскрышных пород [9]. Это позволило в наиболее напряженный начальный период освоения месторождения значительно сократить сроки ввода разреза в эксплуатацию и снизить затраты на его строительство. Целесообразность такого решения, обоснованная расчетами, подтверждена практикой, а горная масса из временных отвалов средствами гидромеханизации удалена во внешний гидроотвал. Отработка по бестранспортной технологии (с временными породными отвалами) только одного Центрального участка протяженностью 3.3 км позволила разрезу повысить скорость подвигания фронта горных работ до 200 м/год и увеличить производительность разреза до 10 млн т/год.

На значительных по площади мульдообразных месторождениях большое значение приобретают порядок и очередность освоения. На их выбор существенное влияние оказывают такие факторы, как угленасыщенность участков карьерных полей и потенциальные возможности карьерного поля для размещения постоянных внутренних отвалов вскрышных пород. По первому фактору в рассматриваемом примере выделяются Центральный, Восточный и Западный участки, по второму и третьему — Центральный и Восточный. Исходя из позиций вскрытия поля разреза, дальности транспортирования вскрышных пород на отвалы и угля на обогатительную фабрику, подготовки емкости для внутреннего отвалообразования и обеспечения требуемого фронта горных, помимо Центрального, к первоочередной отработке по бестранспортной технологии приняты Восточный и Западный участки.

Эльгинское месторождение коксующихся и энергетических углей расположено в Токинском угольном районе Южно-Якутского бассейна. Климат района резко континентальный с колебаниями температуры воздуха от -61 до $+36^{\circ}$. Поле разреза представляет собой среднегорный рельеф с плоскими и узкими водоразделами, крутыми и глубокими долинами водотоков. Абсолютные отметки водоразделов достигают 1050–1400 м с превышением над днищами долин до 250–350 м. В структурном отношении угленосные отложения Эльгинского месторождения образуют крупную брахисинклинальную складку с глубиной погружения нижнего рабочего пласта до 550–600 м (рис. 2). Для открытой разработки на месторождении выделены два участка: детально разведанный и осваиваемый Северо-Западный площадью 62 км² и Юго-Восточный площадью 30 км² (на поисково-оценочной стадии) с общими запасами более 2.1 млрд т. Углы падения пластов на крыльях складки изменяются от 2–5 до 8–10° при практически горизонтальной замковой части. В целом горно-геологические и гидрогеологические условия рассматриваемой залежи сложнее предыдущей, что обусловлено, помимо изрезанного рельефа, наличием в границах поля разреза многолетнемерзлых пород и трех рек, не подлежащих переносу по экологическим требованиям, а также близостью государственного природного заказника “Большое Токко”, накладывающего дополнительные ограничения на открытые горные работы.

В отличие от Талдинского месторождения, где с площади поля произведен отвод двух ручьев, на Эльгинском месторождении под их руслами необходимо сохранять водоохранные зоны шириной 200 м, исключаяющие из отработки часть запасов угля и разрывающие фронт горных работ, что существенно усложняет их ведение. Мощность многомерзлотных пород изменяется от 30 до 40 м в пониженных формах рельефа до 250–270 м на водоразделах, глубина сезонной оттайки 0.2–2.0 м. На площади месторождения выявлено 21 углепроявление, в том числе 11 рабочих пластов (13 с расщеплениями). Промышленные запасы угля оцениваются по JORC в 2.2 млрд т (участка I очереди отработки — 364.8 млн т), общий объем вскрышных пород — 9.7 млрд м³ при среднем коэффициенте вскрыши — 4.4 м³/т.

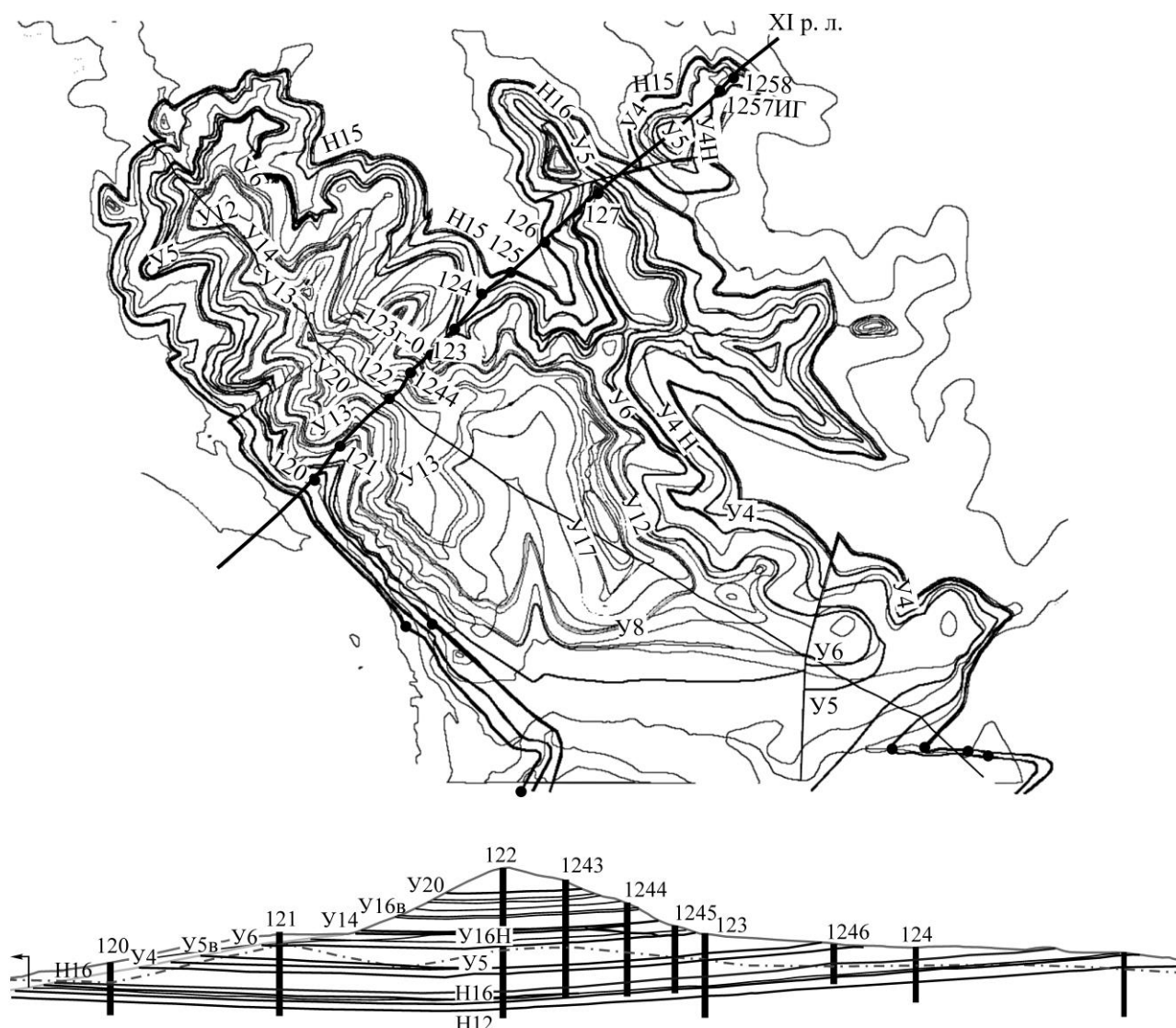


Рис. 2. Эльгинское каменноугольное месторождение: карта выходов пластов под наносы и разрез по VI разведочной линии (по данным Южно-Якутской ГРЭ)

В соответствии с утвержденными кондициями отработке подлежат пласты мощностью 1–15 м и более с суммарной мощностью угольных пачек — 56.8 м, разделенных породными междупластиями мощностью до 78 м. Четвертичные отложения представлены супесями (40 %), суглинками (10 %), песками и щебнем (до 25 %), крупноглыбовыми обломками (25 %), коренные породы — песчаниками (70.8 %), алевролитами и аргиллитами (13.2 %), конгломератами (6.2 %) с коэффициентом крепости 1–10 по М. М. Протоdjяконову.

Для более наглядного представления о характере распределения запасов угля на Северо-Восточном участке Эльгинского месторождения с использованием горно-геологической информационной системы Micromine и сформированных по первичным геолого-маркшейдерским данным детальной и эксплуатационной разведки баз данных построена карта изолиний коэффициентов угленосности (рис. 3). Максимальная угленасыщенность приурочена к выходам пластов под наносы. Эта закономерность принималась в качестве основного критерия при обосновании порядка отработки и схем вскрытия месторождения.



Рис. 3. Изолинии коэффициента угленосности ($K_{уг}$) Северо-Восточного участка Эльгинского месторождения

Производственная мощность разреза “Эльгинский” составляет 27 млн т/год, в том числе первой очереди — 9 млн т/год. Освоение месторождения началось с западного блока Северо-Западного участка по нижнему пласту Н16 с подключением затем вышележащих пластов. Вскрытие рабочих уступов выполняется заездами с рельефа поверхности. Развитие горных работ осуществляется по односторонней продольно-углубочной схеме с подвиганием фронта по падению пластов. В соответствии с техническим проектом I очереди строительства Эльгинского горно-обогатительного комплекса ОАО ХК “Якутуголь” (ООО “Мечел-Инжиниринг”, 2011) принята комбинированная система разработки поля разреза: бестранспортная по нижним пластам свиты (Н15, Н15в и Н16) с перевалкой вскрышных пород в выработанное пространство драглайном ЭШ-15/90; транспортная по всем верхним пластам с применением гидравлических экскаваторов (емкость ковша 6.7–28.0 м³) и автосамосвалов (грузоподъемность 55–220 т).

С учетом сложности строения рабочих угольных пластов, сложенных перемежающимися угольными пачками и породными прослоями, особое внимание уделялось технологии их выемки, обеспечивающей необходимое качество угольной продукции [8]. Рассматривались возможные варианты валовой и селективной выемки с использованием гидравлических и роторных экскаваторов, колесных погрузчиков, бульдозеров с рыхлителями, фрезерных комбайнов типа КСМ-2000Р и “Виртген”. В итоге приняты и реализованы технологические схемы с применением гидравлических экскаваторов и автосамосвалов.

Анализ проектных решений по освоению Эльгинского месторождения показывает, что система разработки соответствует горно-геологическим условиям поля первой очереди разреза. Из общего объема 1320 млн м³ коренных пород с использованием наиболее экономичной бестранспортной технологии предусматривается выемка 265 млн м³, то есть около 20 %.

В условиях недостаточно развитой инфраструктуры для снижения инвестиционных вложений и сокращения сроков ввода разреза в эксплуатацию в начальный период освоения месторождения следует, по нашему мнению, рассмотреть вариант опережающей добычи угля по верхним пластам свиты на участках с повышенной угленасыщенностью, низким коэффициентом вскрыши и формированием временных породных отвалов в границах поля разреза (с последующим их удалением в зону постоянных внутренних отвалов).

Повысить долю вскрышных пород, обрабатываемых на месторождении по бестранспортной технологии, возможно также за счет совершенствования технологических схем экскавации и переэкскавации, применения взрывов на сброс, драглайнов с увеличенными линейными параметрами рабочего оборудования.

Экибастузский каменноугольный бассейн расположен в Павлодарской области Республики Казахстан и представлен мульдой длиной 24 км, шириной до 8.5 км и общей площадью 155 км². Экибастузское месторождение в плане имеет размеры 12 × 6 км, площадь 75 км². Как геологическая структура угленосные отложения месторождения слагают асимметричную грабен-брахисинклиналь, с севера и юго-запада ограниченную крупными разломами с массой разрывных нарушений [7].

Залегание пород продуктивной толщи пологое в центральной части, крутое на бортах (до 65–90°) и опрокинутое вблизи разломов. Мощность угленосной свиты составляет более 600 м и содержит 11 угольных пластов, из которых три верхних угольных пласта (мощностью соответственно 20–25, 33–43 и 84–108 м) имеют промышленное значение. Максимальная глубина погружения почвы нижнего пласта 3 составляет 680 м. Запасы угля на начало освоения бассейна составляли 12.7 млрд т., объем вскрышных пород 18.2 млрд м³, коэффициент вскрыши 1.43 м³/т. Вскрышные породы представлены в основном аллевролитами, песчаниками и аргиллитами с коэффициентом крепости 2.9–8.5 по шкале М. М. Протоdjяконова. Добыча угля в бассейне проводится роторными экскаваторами с погрузкой в железнодорожные вагоны и на ленточные конвейеры, выемка вскрышных пород — карьерными экскаваторами в думпкары с последующим складированием на внешних отвалах, размещенных по периметру карьерного поля.

Освоение месторождения осуществляется последовательно четырьмя разрезами (“Северный”, “Богатырь”, “Восточный”, “Экибастузский”) с вводом их в эксплуатацию с 1955 г. поэтапно с интервалом в 15–20 лет. Особенностью освоения Экибастузского месторождения является прирезка к действующим разрезам незадействованных участков карьерного поля (по выходам пластов), в отличие от выделения промежуточных контуров по глубине, как это практикуется на менее крупных брахисинклиналях. В соответствии с проектом “План горных работ разработки Экибастузского месторождения каменного угля в границах разреза “Восточный” на период 2020–2044 гг. Корректировка схемы вскрытия” (ТОО “Карагандагипрошахт и К”, 2021 г.) на данном объекте прирезались участки (поля) 4; 9; 7, 8 к разрезам “Северный”, “Богатырь” и “Восточный” соответственно. Это дало возможность сформировать единый добычный комплекс производственной мощностью до 90 млн т/год (рис. 4). В настоящее время на месторождении продолжают работу разрезы “Богатырь” и “Северный” производственной мощностью соответственно 32 и 10 млн т/год угля.

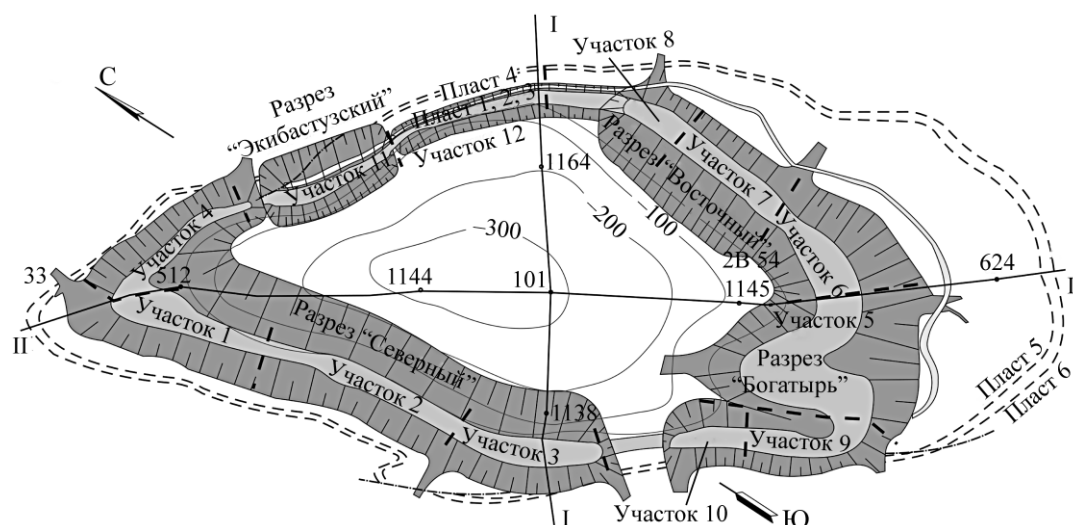


Рис. 4. План горных работ на Экибастузском месторождении (по данным “Карагандагипрошахт и К”)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БРАХИСИНКЛИНАЛЬНОГО ТИПА

Анализ и оценка горно-геологических условий и технологических решений по отработке приведенных в табл. 1, а также других наиболее представительных брахисинклиналей позволяет выделить ряд характерных особенностей, влияющих на эффективность освоения открытым способом месторождений рассматриваемого типа на протяжении всего цикла реализации проектов [8 – 14].

Горно-геологические особенности:

- непостоянство значений углов падения угольных пластов по площади и глубине (от 0° в замковой части до 90° на ее крыльях) вызывает значительное изменение их горизонтальной мощности, влияющей на количество вскрываемых запасов;
- большинство месторождений отличает эксцентриситет мульды, выражающийся в смещении относительно центра ее самой глубокой части, что влечет большой разброс значений углов падения пластов на различных участках месторождений и усложняет технологии их отработки;
- часто залежи имеют в плане вытянутую форму, что предопределяет наличие выположенных участков залегания пластов с наиболее благоприятными условиями для ведения горных работ в зоне длинной оси мульды;
- неуклонное снижение углов падения пластов с глубиной обуславливает рост запасов угля на рабочих горизонтах;
- горизонтальное и пологое падение угольных пластов в придонной (замковой) части мульды делает возможным применение в этой зоне бестранспортной технологии и организации внутренних отвалов вскрывных пород;
- неблагоприятные условия по устойчивости отрабатываемого массива горных пород в случае разработки части запасов угля залежи по восстанию требуют специальных мер по обеспечению безопасности горных работ;
- различный метаморфизм угля по вертикали, когда в верхней части литологического разреза находятся более молодые угли, а в нижней с большей степенью зрелости, приводит к тому, что в пределах одного и того же месторождения или его участка размещаются угли разных марок, технологических групп и подгрупп;
- наличие по периметру выходов пластов под наносы участков окисления углей с не всегда четкими, часто трудно прогнозируемыми границами из-за различия в условиях угленакопления и интенсивности выветривания углей.

Две последние особенности проиллюстрируем на следующих примерах. Среднее значение толщины пластического слоя Y , одного из основных показателей, оценивающего пригодность угля к коксованию, в углях пласта “Мощный” Нерюнгринского месторождения Южной Якутии составляет 12 мм с диапазоном колебаний от 0 до 30 мм. Значения другого показателя спекаемости — индекса свободного вспучивания SI — изменяются от 0 до 9 при преобладающих значениях в неокисленной зоне 6 – 9. На Эльгинском месторождении одноименного региона, также выявлено несколько зон шириной до сотен метров по падению пластов: сильно окисленных и неспекающихся углей ($Y = 0 - 6$ мм), частично окисленных углей с пониженной спекаемостью ($Y = 6 - 20$), неокисленных углей ($Y = 21$ и более). По вертикали зоны окисления обычно не превышают 40 – 50 м. Отмечается снижение выхода летучих веществ (с 40 – 39 до 36 – 35 %) от верхних пластов к нижним.

Технологические особенности развития горных работ:

- поэтапное освоение залежи с целью выравнивания объемов вскрывных работ во времени, предупреждения проявления геодинамических событий и целенаправленного создания емкостей для внутреннего отвалообразования вскрывных пород;

- возможность применения различных вариантов вскрытия и технологий отработки угленосных отложений, в том числе производительных и экономичных бестранспортных схем с экскаваторами-драглайнами, обеспечивающих непосредственную перевалку вскрышных пород в выработанное пространство разрезов;
- включение в первоочередную отработку наиболее угленасыщенных участков полей разрезов;
- возможность опережающей добычи угля по бестранспортной технологии на участках поля разреза, не включенных в первоочередную отработку, с организацией временных породных отвалов и последующей их ликвидацией в экономически обоснованные (с учетом фактора времени) сроки;
- необходимость планирования горных работ во времени и пространстве с учетом существующих и выявляемых в процессе эксплуатации различий качества добываемого угля.

Приведенные особенности позволяют сделать вывод о том, что порядок, схемы вскрытия и технологии отработки брахисинклиналей могут иметь большую вариативность, поэтому предъявляются повышенные требования к принятию решений по их освоению. Основные факторы, которые следует учитывать при этом, включают: особенности рельефа поверхности; размеры залежи в плане, предопределяющие мощность разреза (разрезов) и возможное количество горных участков; местоположение и вместимость отвалов вскрышных пород; расстояние транспортирования пород до отвалов и полезного ископаемого до технологического комплекса; физико-механические свойства и водонасыщенность горных пород; условия залегания угольных пластов (углы падения, мощность, тектоника); различия в качестве и технологических свойствах угля в пластах и их отдельных участках.

Наличие на рассматриваемых месторождениях участков с горизонтальным и пологим залеганием угольных пластов предопределяет возможность эффективного использования бестранспортной технологии для отработки массивов вскрышных пород, в том числе на начальных этапах освоения залежей, когда ценность инвестиций наиболее высока. Многолетний опыт применения бестранспортной технологии разрезами Кузбасса свидетельствует о том, что она обеспечивает снижение себестоимости вскрыши в 2.0–2.5 раза, а трудоемкости в 3.0–3.5 раза в сравнении соответствующими показателями транспортной технологии с минимальным негативным воздействием горных работ на окружающую среду в результате рационального использования техногенного ресурса выработанных карьерных пространств [15].

Порядок разработки брахисинклиналей во многом зависит от их размеров и условий залегания угольных пластов. Мульды ограниченных размеров обычно отрабатываются одним карьерным полем (Назаровское, Черногорское), а крупные преимущественно несколькими карьерными полями (Экибастузское, Эльгинское).

Крупные брахисинклинали отрабатываются поэтапно. На первом этапе 15–20 лет разрезом I очереди осваиваются участки с наибольшей угленасыщенностью, что обеспечивает высокую конкурентоспособность разреза уже на ранних стадиях освоения залежи. По мере сокращения фронта горных работ, обусловленного спецификой рассматриваемых месторождений, в отработку включаются другие участки карьерного поля, прирезка которых осуществляется, как правило, не по высоте, а по площади (по выходам пластов). Этот принцип успешно реализован, например, на Экибастузском месторождении, где в течение 50 лет (этапами по 15–20 лет) вводились в эксплуатацию четыре разреза (рис. 3) [11]. По периметру общей протяженностью 36 км мульда разделена на 12 разведочно-промышленных участков, отрабатываемых разрезами по продольно-углубочной схеме с движением фронта горных работ по падению пластов.

Специфические горно-геологические условия брахисинклинальных залежей, их изменчивость по глубине и площади залегания пластов требует особого подхода при выборе порядка и систем разработки рассматриваемых месторождений. В практике открытых горных работ нашли применение следующие системы разработки: углубочная продольная односторонняя, при которой горные работы развиваются от одного крыла мульды к другому; та же система, но с двумя участками, расположенными на двух противоположных крыльях мульды со встречным развитием горных работ от крыльев к центру мульды; углубочная поперечная односторонняя с развитием горных работ вдоль замковой части мульды; кольцевая.

Обоснование технологических решений по освоению сложноструктурных залежей производится с использованием следующего подхода [11, 14]:

- выделяются участки поля разреза, отличающиеся горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки, структурой угольных пластов, степенью угленасыщенности;
- на каждом участке отмечаются зоны, пригодные для применения бестранспортной и транспортной технологий;
- выполняется предварительный компьютерный геометрический анализ поля разреза с использованием математических моделей для оценки возможных вариантов порядка отработки и схем вскрытия поля разреза, а также ведения горных работ в технологических зонах;
- выбираются участки для первоочередного освоения с наиболее благоприятными горно-геологическими условиями, обеспечивающими максимальную возможность внутреннего отвалобразования вскрышных пород;
- осуществляется обоснование комплексов оборудования и технологических схем вскрышных и добычных работ для характерных этапов эксплуатации разреза;
- проводятся моделирование горных работ и расчеты производительности разреза по вскрыше и добыче с учетом исходных требований: более интенсивной отработки мощных малозольных угольных пластов, обеспечения требуемого качества добываемого угля, возможности применения бестранспортной технологии и внутреннего отвалобразования вскрышных пород.

Эффективность принимаемых при этом технологических решений во многом зависит от учета специфических факторов рассматриваемых геологических структур. Установлено, например, что рост градиента выполаживания углов наклона залежи оказывает существенное влияние на увеличение объема вскрываемых запасов угля при начальной длине добавочного фронта 6000 и менее 5570 м (рис. 5) [16].

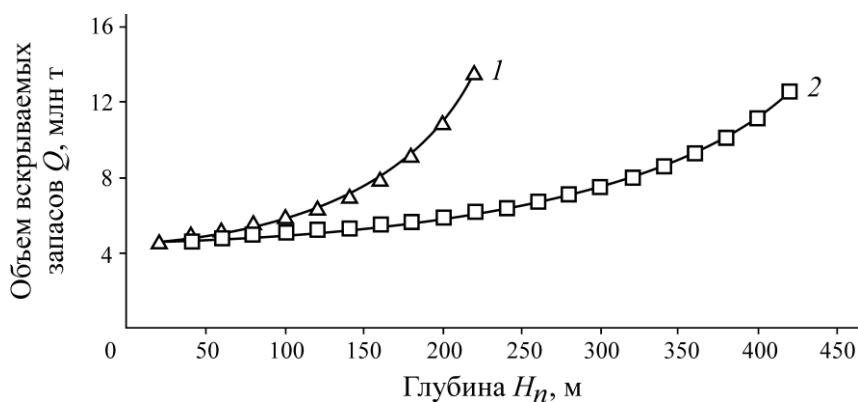


Рис. 5. Закономерности изменения объемов вскрываемых запасов угля с глубиной разреза при градиенте выполаживания угла наклона залежи 1° (1) и 2° (2) на 10 м углубления для залежи с углом наклона $40-0^\circ$

Градиент выполаживания выражает интенсивность изменения углов падения пластов на различных гипсометрических уровнях и может быть найден из выражения:

$$G = \frac{\beta(H1) - \beta(H2)}{H2 - H1},$$

где $\beta(H1)$ и $\beta(H2)$ — углы падения пласта на текущем и планируемом к отработке горизонтах, град; $H1$ и $H2$ — глубина карьера при отработке текущего и планируемого к отработке горизонтов, м. В рассматриваемом примере угол падения рабочего борта принят равным 15° , мощность пластов 22.5 м, падение пластов от 40 до 0° , длина фронта горных работ 6.0 км.

Помимо градиента выполаживания значительное влияние на увеличение объемов вскрываемых запасов оказывает интервал углов падения пластов, причем наибольший эффект достигается при наименьших углах падения пластов. Наряду с положительным эффектом понижение горных работ на брахисинклиналях имеет и отрицательные последствия. Сокращение фронта добычных работ в замковой части синклинали, вызывает необходимость вовлечения в отработку дополнительных участков поля разреза или снижение его производственной мощности.

Большое значение при отработке залежей брахисинклинального типа, как и других геологических структур, особенно в части экономичности и экологической безопасности горных работ, приобретают вопросы складирования вскрышных пород. Практикой установлено, что наиболее затратная транспортная составляющая этого процесса на карьерах и разрезах достигает 50 % и более в себестоимости добычи полезного ископаемого [17–19]. В большинстве случаев размеры и горно-геологические условия мульдообразных месторождений позволяют достаточно масштабно развивать внутреннее отвалообразование как по бестранспортным технологическим схемам с непосредственной перевалкой вскрышных пород драглайнами в выработанное карьерное пространство, так и по транспортным с перемещением пород средствами транспорта для складирования поверх бестранспортных отвалов.

ВЫВОДЫ

Обладая свойствами, характерными для нескольких типов геологических структур, месторождения брахисинклинального типа имеют свои особенности: неуклонное снижение углов падения угольных пластов с глубиной (до пологого и горизонтального в придонной части мульды), что обуславливает рост запасов угля на рабочих горизонтах; непостоянство значений углов падения пластов на крыльях мульды как по площади, так и по глубине месторождения; различная угленасыщенность участков карьерных полей, обеспечивающая возможность выбора наиболее конкурентных вариантов их отработки.

Эффективность технологических решений по развитию открытых горных работ в специфических горно-геологических условиях брахисинклиналей может быть обеспечена за счет: максимально возможного использования бестранспортной технологии для отработки массивов вскрышных пород экскаваторами-драглайнами; поэтапной отработки полей разрезов с целенаправленным формированием выработанных пространств для внутреннего отвалообразования вскрышных пород; включения в первоочередную отработку наиболее угленасыщенных участков и полей разрезов; опережающей добычи угля по бестранспортной технологии с временными породными отвалами на участках поля, не включенных в первоочередную отработку; планирования горных работ и управления ими во времени и пространстве с учетом существующих и выявляемых в процессе эксплуатации качественных различий добываемого угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко И. Е. Итоги угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. — 2022. — № 3. — С. 9–23.
2. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. Т. II, Кн. 2. — М.: Геоинформцентр, 2003. — 604 с.
3. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири. Т. III. — М.: Геоинформцентр, 2002. — 488 с.
4. Угольная база России. Т. V, Кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России. — М.: Геоинформцентр, 1999. — 638 с.
5. Барский А. А., Косолапов А. И., Аверьянов А. Г., Мацицкий А. Л. История и условия разработки основных месторождений каменного угля Минусинского угольного бассейна // Изв. Уральского государственного горного университета. — 2021. — № 3. — С. 96–106.
6. Erdenetsogt B., Lee I., Bat-Erdene D., and Jargal L. Mongolian coal-bearing basins: Geological settings, coal characteristics, distribution, and resources, Int. J. Coal Geol., 2009, Vol. 80. — P. 87–104.
7. Геология угольных месторождений СССР / под ред. А. К. Матвеева. — М.: МГУ, 1990 — 352 с.
8. Геотехнологии открытой добычи на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями / отв. ред. С. М. Ткач. — Новосибирск: Гео, 2013. — 307 с.
9. Ческидов В. И., Норри В. К. К вопросу разработки мультимасштабных месторождений твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. — 2015. — № 3. — С. 91–98.
10. Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А. О геотехнологическом моделировании показателей спекаемости коксующегося угля // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — 2021. — Т. 2. — № 3. — С. 153–161.
11. Мелехов Д. П., Супрун В. И., Пастихин Д. В., Радченко С. А., Левченко Я. В., Панченко О. Л. Порядок и принципы отработки крупных угольных брахисинклиналей // Уголь. — 2013. — № 6. — С. 22–26.
12. Бурцев С. В., Матвеев А. В., Супрун В. И., Радченко С. А., Левченко Я. В. Определение параметров и зон использования капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров // Уголь. — 2018. — № 3. — С. 43–49.
13. Щадов В. М. Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. — М.: Горн. кн., 2004. — 298 с.
14. Григорьев С. Н., Моргунов И. В. Развитие горных работ при отработке мульд средних размеров // ГИАБ. — 2014. — № 2. — С. 47–52.
15. Ческидов В. И., Цымбалюк Т. А., Резник А. В. Повышение эффективности бестранспортной технологии отработки массивов вскрышных пород на разрезах с использованием взрывов на сброс // ФТПРПИ. — 2020. — № 2. — С. 96–102.
16. Левченко Я. В. Влияние морфологических, геомеханических и технических факторов на изменение вскрываемых запасов угля // ГИАБ. — 2015. — № 7. — С. 416–422.
17. Власов В. М., Андросов А. Д. Технологии открытой добычи алмаза в криолитозоне. — Якутск, 2007. — 386 с.
18. Левченко Я. В. Закономерности изменения транспортной работы по подъему горной массы по высотным зонам карьеров // ГИАБ. — 2015. — № S5-18. — С. 3–14.
19. Губарева Д. Ю., Самородова Л. Л. Пути снижения себестоимости перевозки горной массы в филиале “Антоновское рудоуправление” АО “Кузнецкие ферросплавы” // Молодой ученый. — 2020. — № 6. — С. 22–24.

Поступила в редакцию 10/VI 2022

После доработки 20/VI 2022

Принята к публикации 30/VI 2022