

УДК 622.271.3

**УСЛОВИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**В. И. Ческидов, В. Л. Гаврилов, А. В. Резник, А. С. Бобыльский**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
E-mail: cheskid@misd.nsc.ru, gvlugorsk@mail.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Отмечена актуальность освоения новых железорудных месторождений Сибири в связи с истощением существующей минерально-сырьевой базы металлургических предприятий и потенциалом внутреннего и внешнего потребления качественной железосодержащей продукции. Рассмотрены особенности природно-климатических, гидрологических и горно-геологических условий в районе Бакчарского оолитового месторождения бурых железняков в Томской области как перспективного объекта недропользования. Приведены результаты анализа публикаций и научно-технических решений, касающихся добычи бакчарской руды. Показаны риски освоения месторождения в условиях высоких экологических стандартов к сохранению природной среды региона и неопределенности рынка. Сформулированы основные требования к потенциальным геотехнологиям добычи руды и предложены концептуальные основы варианта ресурсосберегающей эколого-ориентированной отработки месторождения с рациональным использованием в технологическом цикле добычи руды природных и техногенных ресурсов.

*Месторождение, бурый железняк, горно-геологические условия, обводненность, карьерные воды, продуктивная толща, технология отработки, гидромеханизация, выработанное пространство*

DOI: 10.15372/FTPRPI20210509

---

Россия входит в число ведущих стран в мире по запасам, прогнозным ресурсам и добыче рядовых железных руд, производству товарных железосодержащих полуфабрикатов. Часть регионов страны, где размещены предприятия металлургического комплекса, традиционно испытывает дефицит местного сырья, в том числе из-за географической разобщенности горно-обогатительных, перерабатывающих и металлургических мощностей. Данная ситуация влечет за собой дополнительные затраты на логистику концентратов, снижает ритмичность обеспечения сырьем заводов, повышает технологические и экономические риски.

Металлургические комбинаты Южного Урала работают в основном на привозном сырье, поставляемом с месторождений Курской магнитной аномалии, Карелии, Мурманской и Иркутской областей, Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного объединения в Казахстане.

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 1251900145-1).

На привозном сырье (из европейской части страны и с Урала) работает и металлургическая отрасль Западной Сибири, где обеспеченность горных предприятий экономически эффективными и технологически безопасными к отработке запасами может составлять 5–15 лет [1]. В данном регионе из-за высокой скорости выбывания запасов в ближайшие годы потребуется реализация альтернативных или взаимодополняющих вариантов, связанных с увеличением объемов поставок из удаленных районов; вводом в эксплуатацию новых перспективных месторождений, обрабатываемых в первую очередь открытым способом; расширением подземной добычи на рудниках во все более сложных горно-геологических и геомеханических условиях.

Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЕВРАЗ ЗСМК), крупнейшее в Сибири металлургическое предприятие, испытывает постоянный дефицит в местной руде. Его восполнение в 2020 г. более чем на 30 % осуществлялось поставками товарной руды с фабрик Урала, из центра страны, Восточной Сибири, удаленных на расстояние 1–5 тыс. км [2, 3]. Вместе с тем наличие надежной, долговременной сырьевой базы, удовлетворяющей требованиям рыночной экономики, — одно из основных условий устойчивого функционирования и развития металлургического комплекса.

Целью настоящей работы является рассмотрение проблемы оценки и выбора объектов недропользования, перспективных для ресурсосберегающего, экономически привлекательного и экологически сбалансированного освоения.

#### **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ БАЗЫ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

В целом российский металлургический комплекс при различных рыночных условиях сохраняет устойчивое положение на внутреннем и внешнем рынках [1]. Потребление черных металлов в стране в условиях определенного диктата производителей остается достаточно стабильным. Экспортные поставки различной продукции, прежде всего первых переделов, даже в условиях сильной конкуренции, волатильности рынка и курсов валют характеризуются относительно высокой эффективностью. Это связано с большой емкостью расширяющегося рынка восточной части Азиатско-Тихоокеанского региона, стабильным спросом в других регионах мира, рациональным уровнем организации технологических процессов в вертикально интегрированных производственных компаниях, расширением пропускной способности железных дорог страны в западном и восточном направлениях, созданием современной портовой инфраструктуры.

В то же время российская сырьевая база черной металлургии по ряду факторов, в первую очередь относящихся к ее невысокому качеству по сравнению с ведущими производителями в мире (Австралия, Бразилия, Канада), снижает потенциал всей отрасли, ее текущую и перспективную конкурентоспособность. В данной ситуации требуется не только поиск наилучших из имеющихся природных объектов для сбалансированной разработки, но и обоснование нетрадиционных геотехнологий.

В восточных регионах России имеется ряд крупных, средних и мелких железорудных провинций, месторождений и рудопроявлений, освоение которых при условии экономической привлекательности и экологически приемлемого уровня воздействия на природную среду позволит удовлетворить потребность сибирских и дальневосточных металлургических предприятий в руде, спланировать экспортные поставки на длительную перспективу. К числу таких объектов можно отнести месторождения Приангарья (Ангара-Питского и других рудных районов) [1]; Кодаро-Удоканского и Белорецко-Инского рудных районов; Харловское, Холзунское, Ампалькское Алтае-Саянской



Руды аналогичны рудам лотарингского типа и содержат примеси фосфора, ванадия, палладия, золота и платины. Запасы железной руды оцениваются в 28.7 млрд т, прогнозные — порядка 110 млрд т, около 30 % из которых находится в рыхлом, сыпучем или полусцементированном состоянии [9].



Рис. 2. Схема Западно-Сибирского железорудного бассейна: 1 — площадь распространения мел-палеогенового моря; 2 — полоса распространения прибрежно-морских железорудных отложений; 3 — площади наиболее крупных железорудных узлов (месторождений)

Помимо значительных запасов высококачественных железных руд, вмещающие породы и рудные залежи Бакcharского месторождения содержат ряд попутных минеральных компонентов, представляющих интерес для промышленной добычи. Ресурсы глауконита, ценного сырья для производства калийных удобрений и других инновационных продуктов, оцениваются порядка 800 млн т и не представляют затруднений для извлечения. К этой же категории относятся песчаные алевролиты Ипатовской свиты с включениями магнетита и ильменита со средним содержанием 15.2 % [10]. Месторождение сложено преимущественно слабыми осадочными породами, что создает благоприятные условия для их безвзрывной и при необходимости селективной выемки.

В стратиграфическом разрезе продуктивной толщи выделено 50 литологических слоев пятнадцати свит, из которых десять существенно отличаются по составу вскрышных горных пород (табл. 1). Мощность вскрышных пород на участках, привлекательных для первоочередной разработки открытым способом, составляет 165–200 м. Рудная залежь, представленная тремя сближенными рудоносными горизонтами, сложена слабосцементированными и рыхлыми рудами гидрогетито-лептохлорито-сидеритового состава с временным сопротивлением сжатию 3.6–564 кг/см<sup>2</sup>, которые перемежаются породными прослоями хлоритолитов, глауконитолитов с алевролитами, песками и песчаниками [11]. Состав бакcharских руд отличается большим многообразием и высоким содержанием элементов (табл. 2) [12].

По горно-геологическим условиям Бакcharское месторождение имеет относительно простое строение и не представляет больших трудностей для разработки его открытым способом. С учетом незначительной прочности вскрышных пород для отработки продуктивной толщи в границах карьерного поля могут быть использованы наиболее экономичные поточные технологии с горнотранспортным оборудованием непрерывного действия.

ТАБЛИЦА 1. Состав вскрышных пород Бакчарского месторождения

Порода	Мощность слоя, м		Количество слоев	Общая мощность пород по скважине, м
	от	до		
Торф	—	3.50	1	3.5
Глина	0.20	14.00	16	63.0
Суглинки	0.80	1.05	3	4.5
Алеврит	0.35	4.80	8	15.0
Супесь	2.50	9.30	3	15.3
Лигнит	0.15	1.55	7	9.0
Песок тонкозернистый	0.70	6.80	7	13.0
Песок от мелко- до среднезернистого	6.80	16.80	5	57.0

ТАБЛИЦА 2. Состав оолитов Бакчарского месторождения в сравнении с другими месторождениями

Месторождение	Тип оолитов	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>общ</sub>	Fe <sub>общ</sub>
Бакчарское	Оолиты гидрогетита фракции более 1.0 мм	12.48	4.28	67.28	2.75	0.39	1.10	1.12	0.44	1.19	0.39	0.15	49.24
	То же фракции, мм:												
	1.00–0.50	9.71	4.41	69.65	0.72	0.34	1.05	0.95	0.34	1.25	0.49	0.15	49.22
	0.50–0.25	9.36	5.94	69.15	0.72	0.42	1.40	1.04	0.34	1.32	0.57	0.15	48.26
	0.25–0.20	11.53	8.55	63.69	1.23	0.53	1.20	1.00	0.27	1.27	0.57	0.06	45.54
	0.20–0.16	15.78	6.30	61.41	0.91	0.54	1.30	1.12	0.32	1.25	0.68	0.06	43.70
	0.16–0.01	9.21	16.36	57.53	1.45	1.00	1.30	1.12	0.32	1.10	0.56	0.15	41.40
Аятское	Оолиты гетитогидрогетитовые	5.18	3.11	72.84	0.93	0.31	0.77	0.42	0.16	1.95	—	0.02	51.71
Лисаковское	Оолиты гидрогетитовые	2.81	5.52	70.14	2.12	0.26	0.56	0.46	0.21	2.46	—	0.04	50.75

Наибольшее влияние на выбор технологий и рентабельность разработки месторождения, безусловно, будут оказывать его сложные гидрогеологические условия. На месторождении в усредненном гидрогеологическом разрезе выделяется пять водоносных горизонтов, отличающихся различными фильтрационными характеристиками [13]. Подземные воды этих горизонтов являются частью единой гидродинамической системы Западно-Сибирского артезианского бассейна, что предопределяет высокие значения ожидаемых водопритоков в горные выработки.

Водоносные горизонты разделены водоупорами, выдержанными в разрезе и по площади. Первый от поверхности постоянно действующий водоносный горизонт приурочен к песчаным отложениям общей мощностью до 50 м (рис. 3). Второй горизонт представлен песчано-алевритовыми отложениями с элементами плавучести (мощность до 40–50 м). Третий горизонт сложен песками мощностью более 50 м с максимальной степенью обводненности и высоким напором над кровлей (с самоизливом в долинах рек). Его воды используются большинством водозаборов для хозяйственно-питьевого снабжения населенных пунктов. Четвертый водоносный горизонт образован

обводненными песками мощностью до 25–30 м, подстилается непосредственно железорудной толщей, обладает большим гидростатическим напором и пониженными фильтрационными параметрами. Пятый водоносный горизонт мощностью около 20 м залегает под рудной толщей в основании гидрогеологического разреза. Подземные воды обладают высоким напором и повышенной минерализацией, позволяющей отнести их к минеральным лечебно-столовым.

Предполагается, что при отработке рудной залежи открытым способом в формировании водопритоков будут принимать участие все перечисленные водоносные горизонты, а их суммарный объем определяться главным образом геометрическими размерами горных выработок. В зависимости от указанных параметров и года эксплуатации карьера прогнозные водопритоки (в расчете на 1500 м фронта горных работ) ожидаются в размере 250–270 тыс. м<sup>3</sup>/сут на первый год и до 160–180 тыс. м<sup>3</sup>/сут на стабильный период его работы [14].

Повышенная обводненность Бакчарского месторождения будет одним из главных факторов, определяющих выбор технологии его отработки, которая, помимо высоких технико-экономических показателей, должна обеспечивать и экологическую безопасность открытых горных работ. Это обусловлено постоянно возрастающими требованиями к охране природной среды; наличием в районе месторождения населенных пунктов, водоснабжение которых осуществляется с использованием подземных источников; развитой гидрологической сетью в районе расположения месторождения и весьма сложными гидрогеологическими условиями; близостью заповедника “Васюганский” [15]; необходимостью проведения тщательной оценки ожидаемого негативного воздействия горного производства на природную среду, особенно в части загрязнения водных и земельных ресурсов [16–18].

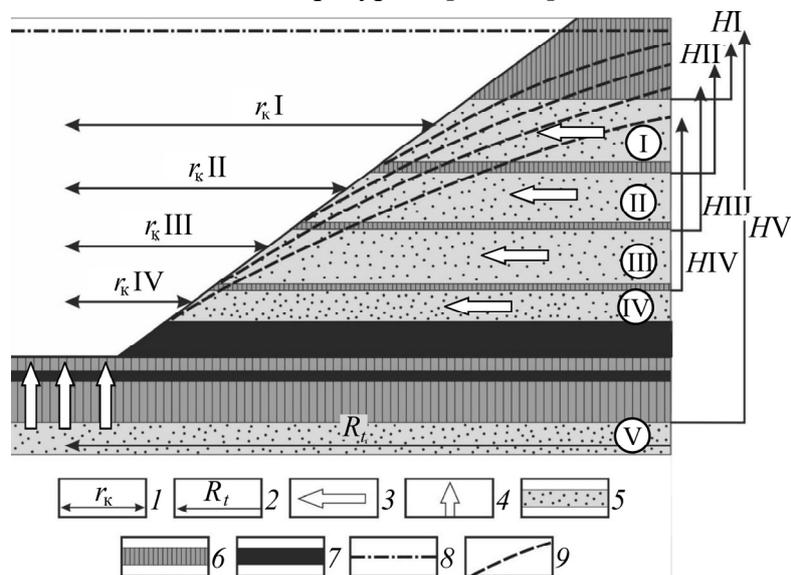


Рис. 3. Схема формирования ожидаемых водопритоков: 1 — приведенный радиус “большого колодца”; 2 — условный радиус влияния; 3 — направление бокового притока; 4 — направление вертикального фильтрационного потока за счет перетекания снизу; 5 — водоносные горизонты; 6 — водоупорные породы; 7 — рудные толщи; 8 — статический уровень подземных вод; 9 — динамический уровень подземных вод;  $H$  — пьезометрическая высота; I–V — условный номер водоносного горизонта

Гидрогеологические и экологические риски освоения месторождения и связанные с этим потенциальные ограничения в недропользовании приобретают первостепенное значение в случае предполагаемой реализации варианта с формированием крупномасштабного горно-

металлургического комплекса, включающего, помимо добычи руды, обогащательные и перерабатывающие производства [9]. С учетом изложенного можно сформулировать два основных требования к технологии отработки Бакчарского железорудного района — низкая ресурсоемкость и высокая экологическая безопасность горного производства.

### АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОСВОЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Первые предварительные исследования по открытой технологии отработки Бакчарского месторождения были выполнены в 1957 г. институтом “Гипроруда” (г. Ленинград) при разработке технико-экономического обоснования его освоения с возможностью добычи до 30 млн т железной руды в год и целесообразностью использования ее для обеспечения сырьем местных металлургических заводов. В исследованиях ИГД СО РАН, выполненных в конце 60-х годов XX в. с участием ИЭОПП СО РАН, Западно-Сибирского геологического управления, ВИОГЕМ, ВНИМИ, институтов Механобр, Гипромез, Гидропроект им. С. Я. Жука, Проектгидромеханизация и других организаций, рассмотрен ряд возможных технологий отработки залежи [12].

Анализ отечественного и зарубежного опыта открытой добычи полезных ископаемых в сходных с Бакчарским месторождением горно-геологических условиях (Лебединский, Соколовско-Сорбайский, Камыш-Бурунский железорудные карьеры, Раздольский серный, Кумертауский, германские буроугольные карьеры и др.) свидетельствовал о повсеместном применении безвзрывных технологий отработки массивов горных пород. В зависимости от конкретных горно-геологических условий использовалось разнообразное выемочно-погрузочное оборудование: гидромониторы, земснаряды, многочерпаковые и роторные экскаваторы, драглайны и мехлопаты. В связи с повышенной обводненностью этих месторождений особое внимание при строительстве и эксплуатации карьеров уделялось вопросам осушения продуктивной толщи, повышения устойчивости горных выработок и отвалов, что, безусловно, весьма актуально и для Бакчарского месторождения.

В исследованиях ИГД СО РАН для первоочередного освоения был обоснован восточный участок месторождения размером в плане  $8 \times 5$  км со средней мощностью вскрышных пород 178 м, рудных горизонтов 30 м, содержанием железа 36.6%, запасами кондиционных руд 2.8–3.1 млрд т. Предложенные технологические схемы предусматривали отработку участка открытым способом с предварительным осушением карьерного поля и применением горно-транспортного оборудования непрерывного и циклического действия (роторные экскаваторы, скреперы, землесосные снаряды, гидромониторно-землесосные установки). Рассмотрены следующие технологические схемы отработки карьерного поля с использованием на его вскрытии и последующей отработке основного выемочного оборудования: горизонтальными слоями (уступами) комплексами непрерывного действия (роторные экскаваторы, ленточные конвейеры, отвалообразователи) с одно- и разнонаправленным подвиганием фронта горных работ; наклонными слоями комплексами циклического действия (погрузочные машины, машины обрушения, самоходные скреперы, ленточные конвейеры); горизонтальными слоями средствами гидромеханизации (землесосные снаряды, гидромониторно-землесосные установки, роторно-гидравлические комплексы); роторными экскаваторами на гидротранспорте.

Годовая производительность карьера принималась в размере 50 млн т по руде и 176–202 млн м<sup>3</sup> по вскрыше (эксплуатационный коэффициент вскрыши 3.5–4.0 м<sup>3</sup>/т). В результате технико-экономического сравнения вариантов к реализации была рекомендована технологическая схема с комплексами непрерывного действия производительностью 8000 м<sup>3</sup>/ч и раз-

нонаправленным подвиганием фронта горных работ (начальная отработка поля в поперечном направлении с переходом на продольное). Планировалось складировать вскрышные породы во внутренних и внешних отвалах, объемы которых определялись в зависимости от варианта технологических схем. Для добычи руды рассматривались схемы с использованием роторных экскаваторов, драглайнов и самоходных скреперов с выдачей руды на поверхность железнодорожным и автомобильным транспортом, скиповым и конвейерным наклонными подъемниками. В итоге рекомендовано применение мощных самоходных скреперов в комплексе с конвейерным подъемом, размещаемом в засыпных галереях во внутренних породных отвалах.

В силу разных причин почти полвека каких-либо значимых научных и проектных работ по Бакчарскому месторождению не проводилось. Только в 2005–2010 гг. по инициативе и при участии Томской горнодобывающей компании на двух перспективных участках были возобновлены поисково-оценочные и опытно-промышленные работы с добычей порядка 2000 т железной руды методом скважинной гидродобычи (СГД). Произведена оценка запасов руды в объеме около 750 млн т категории  $C_2$  и ресурсов около 20 млрд т категории  $P_1$ , которая в настоящее время Госбалансом запасов не учитывается. В результате лабораторных исследований и практических испытаний на обогатительных и металлургических предприятиях подтверждена возможность получения из руды высококачественных окатышей и концентратов, сплавов чугуна, стали, ферросплавов с высоким содержанием ванадия, марганца, титана, циркония и редкометалльных элементов. Выполненные работы позволили также оценить возможности и недостатки технологии СГД, что может быть использовано в дальнейшем при обосновании технологий отработки Бакчарского месторождения [9]. По мнению инициаторов и исполнителей указанных работ, горно-геологические и гидрогеологические условия Бакчарского месторождения позволяют рассмотреть несколько технологически обоснованных вариантов его освоения, среди которых может оказаться конкурентоспособным вариант поэтапной отработки месторождения с использованием в период строительства карьера технологии СГД для добычи рыхлой руды и открытой геотехнологии в последующие периоды его эксплуатации. О других исследованиях технологической направленности, кроме отдельных публикаций о возможных способах и негативных последствиях добычи бакчарской руды, информация практически отсутствует.

Теоретически при выборе способа разработки Бакчарского месторождения могут рассматриваться открытый, подземный, открыто-подземный и другие способы. При значительной обводненности месторождения и слабой несущей способности вскрышных пород его подземная разработка, очевидно, будет весьма затруднена и потребует выполнения специальных трудоемких и затратных работ (замораживание пород, закладка выработанного пространства и т. п.).

Вопрос применения СГД также нуждается в глубокой проработке из-за отсутствия достаточного практического опыта добычи железных руд в аналогичных горно-геологических условиях и недопустимо низкой полноты выемки рудных запасов. Так, результаты длительного и наиболее представительного опытно-промышленного использования этой технологии на Гостищевском железорудном месторождении для добычи богатых руд с глубины 800 м свидетельствуют о том, что их потери в недрах достигают 80 % [19]. Выяснилось, что основной причиной потерь и разубоживания руды является неуправляемое обрушение кровли рудной залежи. Такую же ситуацию следует ожидать и на Бакчарском месторождении, сложенном более слабыми горными породами. Условия очагового залегания и ограниченное участие рыхлых оолитовых руд в разнопрочной гамме рудных фаций также не будут способствовать крупномасштабному внедрению этой технологии.

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ВАРИАНТА ОТРАБОТКИ БАКЧАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ**

Исходя из горно-геологических и гидрогеологических условий месторождения, а также результатов выполненных исследований, наиболее конкурентоспособным вариантом его освоения, по нашему мнению, будет открытый способ с безвзрывными технологиями отработки массивов горных пород. В зависимости от степени их обводненности допустимо применение комплексов непрерывного действия (роторные и цепные экскаваторы) и средств гидромеханизации (гидромониторно-землесосные комплексы, земснаряды) соответственно с конвейерным и трубопроводным транспортом. Возможны также комбинированные варианты с использованием этого и другого горного оборудования (драглайны, фрезерные комбайны, скреперы и т. д.).

Любой из возможных вариантов технологий освоения месторождения, помимо его экономической эффективности, должен в полной мере отвечать постоянно возрастающим требованиям охраны природной среды. В основе эколого-ориентированных геотехнологий освоения обводненных месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом должны лежать эффективные технологические решения, предусматривающие: рациональное использование в производственных процессах карьера природных и техногенных ресурсов; применение безвзрывных способов и технических средств выемки горных пород; внутреннее отвалообразование вскрышных пород; существенное снижение степени негативного воздействия горных работ на природную среду; минимально возможное изъятие и своевременное восстановление нарушенных земель; обоснование направлений использования горных выработок после завершения эксплуатации карьера и создание технологических предпосылок для их реализации [20].

Основные положения концепции разработки Бакчарского железорудного месторождения можно представить в следующем виде:

— с учетом специфики горно-геологических и гидрогеологических условий месторождения, планируемых значительных объемов добычи руды и вскрышных работ, полноты выемки рудных запасов и охраны природной среды освоение месторождения должно производиться открытым способом;

— для отработки карьерного поля целесообразно использование комбинированной транспортно-бестранспортной системы разработки без осушения продуктивной толщи;

— ведение открытых горных работ предусматривается по рабочим горизонтам с учетом гидрогеологических условий участков и прочностных характеристик горных пород на основе рационального использования карьерных вод и выработанного карьерного пространства;

— аккумуляция всей воды, поступающей в карьерное поле, осуществляется в придонном технологическом водоеме с последующим ее использованием в замкнутом цикле водообеспечения гидромеханизированной выемки горных пород, а водоем и породный гидроотвал размещаются в выработанном пространстве карьера;

— экономическая эффективность добычи руды открытым способом обеспечивается за счет исключения высоко затратных мероприятий по осушению карьерного поля; рационального использования карьерных вод в процессе гидромеханизированной выемки вскрышных пород; сокращения расстояний транспортирования гидросмеси вскрышных пород в гидроотвал и воды из технологического водоема к гидромониторно-землесосным комплексам (ГЗК).

— снижение негативного воздействия открытых горных работ на природную среду достигается путем предотвращения масштабного обезвоживания территорий, прилегающих к карьерному полю; сокращения радиуса депрессионной воронки; уменьшения сброса в гидрографию

ческую сеть района месторождения загрязненных карьерных вод; сокращения вредных выбросов в атмосферу благодаря исключению пылящих “сухих” процессов горных работ; уменьшения площади земель, изымаемых для размещения внешних отвалов вскрышных пород.

Согласно предлагаемой схеме развития горных работ при отработке Бакчарского месторождения (рис. 4) на первом этапе, после вскрытия карьерного поля въездной и разрезной траншеями, горные работы проводятся укороченным фронтом (порядка 750 м) в поперечном направлении с целью формирования минимального по объему передового карьера до подошвы нижней рудной залежи. Вскрышные породы в этот период разрабатываются гидромеханизированным способом со складированием их во внешнем гидроотвале, размещаемом за границами карьерного поля. Обеспечение безопасности горных работ от водопритоков в зависимости от степени обводненности первоочередного участка осуществляется с помощью одного из традиционных способов или их комбинаций (открытого водоотлива, водопонижающих скважин, противофильтрационных завес).

На втором этапе отработки месторождения выполняется разворот фронта горных работ на  $90^\circ$  и подвигание его в продольном направлении. Выемка вскрышных пород на этом и последующих этапах осуществляется также гидромеханизированным способом с использованием гидромониторно-землесосных комплексов и водоснабжением их за счет карьерных вод. Складирование гидросмеси вскрышных пород производится во внутреннем гидроотвале, формируемом в выработанном пространстве передового карьера, с последующим его развитием вслед за подвиганием горных работ [21].

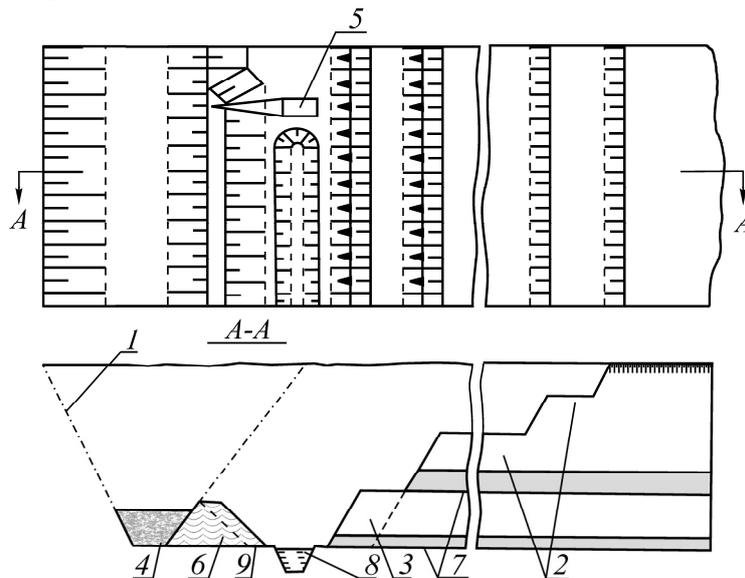


Рис. 4. Схема развития горных работ при отработке карьерного поля Бакчарского месторождения: 1 — контур передового карьера; 2 — вскрышные уступы, обрабатываемые гидромониторно-землесосными комплексами; 3 — вскрышной уступ, обрабатываемый экскаватором-драглайном; 4 — гидроотвал вскрышных пород; 5 — драглайн; 6 — часть оградительной дамбы из пород вскрышного уступа, обрабатываемого драглайном; 7 — пласты полезного ископаемого; 8 — водопримная траншея (зумпф); 9 — часть оградительной дамбы из пород водопримной траншеи

## ВЫВОДЫ

Особенности горно-геологических и гидрогеологических условий Бакчарского железорудного месторождения определяют необходимость изыскания ресурсосберегающей и экологически сбалансированной геотехнологии его освоения, наиболее полно удовлетворяющей требованиям конкурентоспособности и экологической безопасности горного производства.

Анализ геологических материалов, публикаций и практических работ, выполненных на месторождении, показал, что для добычи бакчарской руды теоретически могут быть использованы все известные способы: открытый, подземный и их комбинации, а также специальные технологии, например скважинной гидродобычи, реализованной в опытном порядке на первоочередном эксплуатационном участке месторождения.

Наиболее предпочтительным для освоения месторождения является открытый способ, как наиболее технологичный в рассматриваемых условиях и обеспечивающий высокие показатели добычи руды при максимальной полноте выемки ее запасов и максимально возможной экологической безопасности горных работ.

Концептуальные положения предлагаемой открытой геотехнологии отработки Бакчарского месторождения ориентированы на эффективное использование карьерных вод и выработанного карьерного пространства в производственном цикле и снижение на этой основе эксплуатационных затрат на добычу руды, а также уровня негативного воздействия горного производства на природную среду.

С учетом значительных объемов горного и перерабатывающего производств, планируемых на базе Бакчарского месторождения, при недостаточной изученности экологической уязвимости прилегающих территорий, включая заповедные и особо охраняемые, окончательный выбор технологии добычи бакчарской руды может быть сделан после более глубокой научной и проектной проработки вопросов освоения месторождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **О состоянии и использовании** минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году. Гос. доклад. — М., 2020. — 494 с. [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady) (дата обращения 12.07.2021 г.).
2. **ЕВРАЗ. Годовые отчеты** <https://www.evraz.com/ru/investors/reports-and-results/annual-reports/> (дата обращения 12.07.2021 г.).
3. **Филиппов П. А., Фрейдин А. М.** О развитии рудной базы металлургического комплекса Западной Сибири // ФТПРПИ. — 2012. — № 4. — С. 133–143.
4. **Рогов В. Ю.** Современные представления о реальных направлениях размещения предприятий черной металлургии в Сибири // Вестн. ЗабГУ. — 2020. — Т. 26. — № 7. — С. 132–139.
5. **Данилов Ю. Г., Григорьев В. П.** Стратегия развития Дальневосточного металлургического кластера // ЭКО. — 2015. — № 5. — С. 99–110.
6. **ГИС-Пакеты** оперативной геологической информации (ГИС-Атлас “Недра России”) <http://vsegei.com/ru/info/atlaspacket/> (дата обращения 12.07.2021 г.).
7. **Rudmin M., Banerjee S., and Mazurov A.** Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia, *Sedimentary Geology*, 2017, Vol. 355. — P. 20–30.
8. **Мазуров А. К., Боярко Г. Ю., Емешев В. Г., Комаров А. В.** Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область // Руда и металлы. — 2006. — № 2. — С. 64–70.
9. **Паровинчак М. С., Лукьянов В. Г., Гринев О. М., Ростовцев В. Н.** Освоение Бакчарского железорудного месторождения в Томской области — главный проект стратегии развития Сибири на ближайшие десятилетия // Вестн. РАЕН. Зап.-Сиб. отд.-ние. — 2017. — № 20. — С. 57–66.
10. **Рудмин М. А., Мазуров А. К., Рева И. В., Стеблецов М. Д.** Перспективы комплексного освоения Бакчарского железорудного месторождения (Западная Сибирь. Россия) // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. — № 10. — С. 85–94.

11. **Рудмин М. А.** Особенности осадочных отложений, вмещающих железные руды Бакcharского месторождения (Томская область) // *Металлогения древних и современных океанов*. — 2013. — № 19. — С. 120–123.
12. **Перспективы освоения Бакcharского железорудного месторождения** / отв. ред. Н. А. Чинакал. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 1971. — 283 с.
13. **Ермашова Н. А.** Гидрогеологическая типизация Бакcharского железорудного месторождения и прогноз условий его освоения // *Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: материалы Межрегион. науч.-практ. конф.* — Томск: ТПУ, 2005. — С. 125–128.
14. **Кузеванов К. И., Кузеванов К. К., Дутова Е. М., Покровский В. Д.** Гидрогеологические условия Бакcharского железорудного месторождения и предварительная оценка водопритоков // *Изв. РАЕН. Геология разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. — 2018. — Т. 41. — № 4 (65). — С. 23–36.
15. **Постановление Правительства РФ** от 16.12.2017 г. № 1563 “Об учреждении государственного природного заповедника “Васюганский”.
16. **Копысов С. Г.** Параметры экологически допустимой разработки Бакcharского железорудного месторождения // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. — 2011. — № 5. — С. 420–425.
17. **Шайхиев И. Р.** Геоэкологический мониторинг природных сред района Бакcharского железорудного месторождения (Томская область) // *Современные проблемы науки и образования*. <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19954> (дата обращения 12.07.2021 г.).
18. **Апасов А. М., Едешева Ч. В.** Большая руда Бакcharа // *Вестн. горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии*. — 2014. — № 32. — С. 186–194.
19. **Янин Е. П.** Оценка воздействия разработки российских железорудных месторождений на окружающую среду. Обзор // *Экол. экспертиза*. — 2019. — № 5. — С. 2–94.
20. **Резник А. В., Ческидов В. И.** Технология открытой разработки обводненных бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // *ФТПРПИ*. — 2019. — № 1. — С.106–115.
21. **Ческидов В. И., Резник А. В.** Особенности формирования гидроотвала вскрышных пород при разработке обводненного бурогольного месторождения // *ФТПРПИ*. — 2019. — № 2. — С.105–111.

*Поступила в редакцию 26/VII 2021*

*После доработки 30/VII 2021*

*Принята к публикации 10/IX 2021*