

## Особенности обеспечения экологической безопасности подземной разработки Яковлевского месторождения богатых железных руд

©2023 Д. В. Голубничий<sup>1</sup>, Д. Х. Гилязев<sup>1</sup>, И. М. Игнатенко<sup>2✉</sup>, В. В. Хаустов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Яковлевский ГОК», 309076, Белгородская область, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, 85, 308015, Белгород, Российская Федерация

### Аннотация

*Введение:* Рассмотрены весьма сложные горно-геологические условия Яковлевского месторождения богатых железных руд, требующие организации надежного мониторинга гидрогеологических и геомеханических процессов, сопровождающих горные работы. Установлены наиболее значимые факторы формирования экологической безопасности разработки месторождения – весьма сложные гидрогеологические условия и физико-механические свойства руды при значительной толщере-крывающих осадочных пород.

*Методика:* Проведен анализ существующего метода мониторинга, который позволяет фиксировать лишь величину фактического смещения горных пород, но не динамику самого процесса оседания предохранительного целика, не позволяет осуществлять непрерывный контроль состояния массива в режиме реального времени.

*Результаты и обсуждение:* Разработана оригинальная система экологической безопасности разработки месторождения, построенная на основании принципов мониторинга гидротехнических сооружений («гидростатический нивелир»). Показана техническая возможность и целесообразность размещения подобных систем мониторинга не только в заполненном закладочным материалом выработанном пространстве, но также и в прочих труднодоступных его местах. Масштабирование подобной системы позволит обеспечить экологическую безопасность в пределах всего подземного рудника.

**Ключевые слова:** богатые железные руды, горное давление, экологическая безопасность, объемные деформации, гидрогеомеханический мониторинг, наблюдательный репер, датчик давления.

*Источник финансирования:* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания №FZWG-2023-0011

*Для цитирования:* Голубничий Д. В., Гилязев Д. Х., Игнатенко И. М., Хаустов В. В. Особенности обеспечения экологической безопасности подземной разработки Яковлевского месторождения богатых железных руд // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 2. С. 94–103. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/94-103>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Игнатенко Игнат Михайлович, e-mail: [ignatenko\\_i@bsu.edu.ru](mailto:ignatenko_i@bsu.edu.ru)

### **Введение**

Яковлевское месторождение богатых железных руд является одним из наиболее крупных в пределах Курской магнитной аномалии (КМА, Белгородский железорудный район). Оно является уникальным по запасам руд и их кондициям среди известных в настоящее время железорудных месторождений мира. Одновременно, Яковлевское месторождение относится также к наиболее сложным по гидрогеологическим и горнотехническим условиям [1].

На сегодняшний день отработка запасов богатых железных руд (далее БЖР) ведется под неосушенным напорным водоносным горизонтом, приуроченным к каменноугольным отложениям. Добычные работы при этом производят системой разработки с полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями в целях обеспечения устойчивости водоупора отмеченного водоносного горизонта.

### **Краткая горно-геологическая характеристика месторождения**

Яковлевское месторождение БЖР представляет собой древнюю кору выветривания железистых кварцитов докембрия, погребенную на глубине 470–550 м мощной толщей образований осадочного чехла.

Многочисленными исследованиями Яковлевского месторождения БЖР отмечаются его весьма сложные горно-геологические условия, predeterminedенные большой глубиной залегания богатых железных руд, существенной проработкой кристаллических пород фундамента процессами выветривания, формационным и литологическим разнообразием руд и пород при значительной изменчивости их физико-механических свойств [2–7 и др.].

Осадочная чехол представлен отложениями каменноугольного, юрского, мелового, палеогенового и четвертичного периодов, залегающих практически горизонтально [8].

По результатам детальной разведки, ширина Яковлевской залежи в границах шахтного поля составляет в среднем в пределах 250 м, длина – 1600 м, мощность порядка 100 м.

Как уже отмечено выше, богатые железные руды являются продуктом выветривания железистых кварцитов. При этом, железистые кварциты в невыветрелых зонах характеризуются как весьма крепкие и слабо трещиноватые породы. Они представляют собой лежащий бок залежи, являясь устойчивым массивом как в кровле, так и в бортах горных выработок.

Напротив, породы всячего бока являются крайне непостоянными по прочности вследствие неравномерно выраженной слоистости и наличия в них кливажа расслоения. Породы всячего бока представлены сланцами, выветрелая часть которых быстро размокает при обводнении (рис. 1).

Основными рудными минералами БЖР являются гематит в модификации железной слюдки, мартит, магнетит, сидерит, дисперсный гематит, гидрогематит, гидрогётит, гётит; нерудных – кварц, хлорит, кальцит,

гиббсит, каолинит и гидрослюда. При этом в зависимости от количественного соотношения отмеченных рудных минералов выделяются следующие основные минералогические типы руд: железно-слюдковые, железно-слюдково-мартиновые и мартиновые руды; мартино-гидрогематитовые руды; гидрогематито-гидрогётитовые руды; карбонатизированные руды (сидерито-железнослюдковые, сидерито-железнослюдково-мартиновые, сидерито-гидрогематито-гидрогётитовые); хлоритизированные руды (железнослюдковые, железнослюдково-мартиновые и другие).

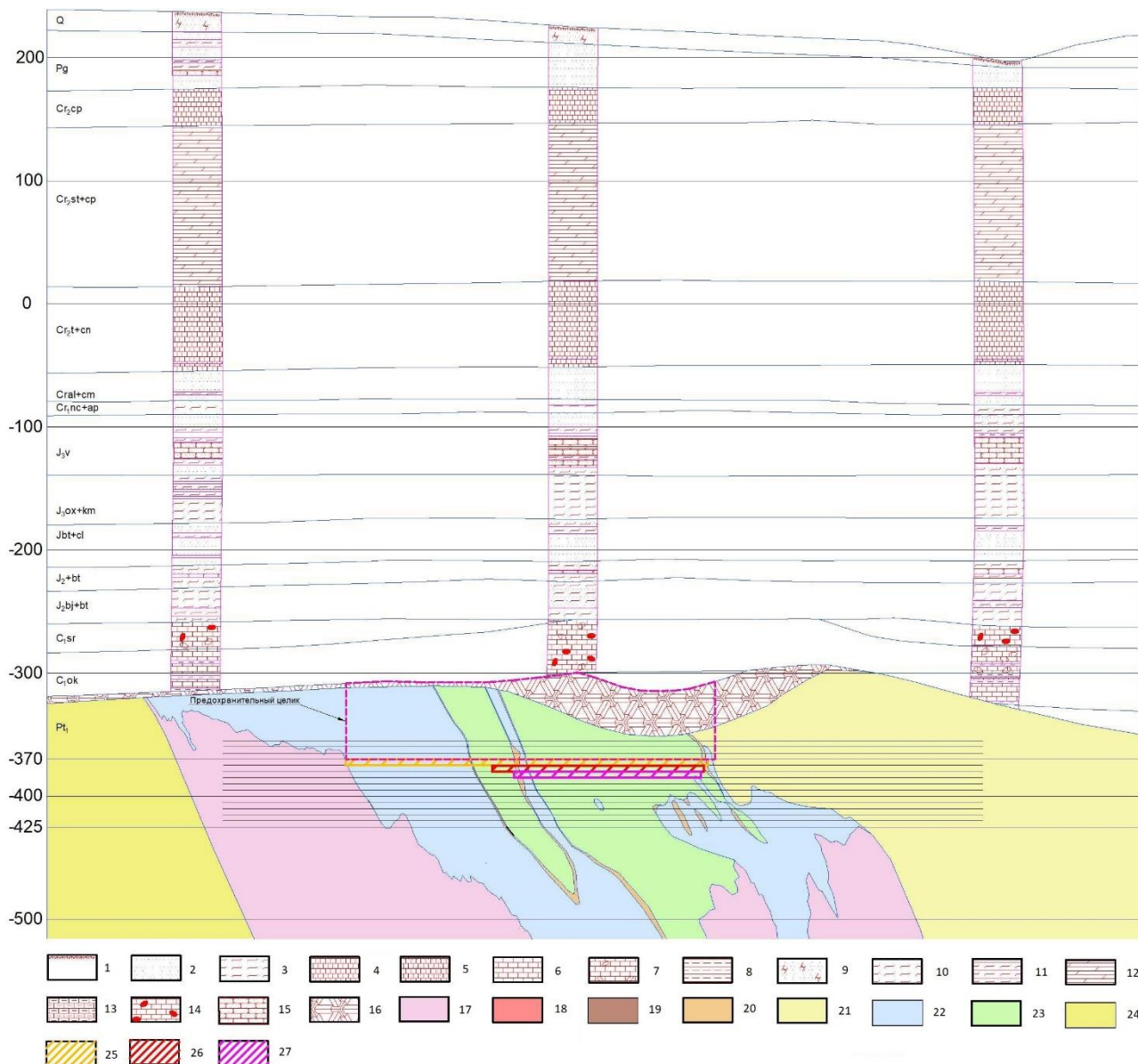
Непосредственно рудная залежь отличается наличием как отдельных прослоев, так и значительных по распространению в плане включений филлитовидных сланцев и крепких железистых кварцитов.

При отмеченной выше сложности горно-геологических условий разработки Яковлевского месторождения, следует особенно выделить проблематику его подземной разработки, связанную с весьма непростыми гидрогеологическими особенностями [9–11 и др.]. Последняя, обусловлена наличием большого количества водоносных горизонтов (семи) [2]. Гидрогеологическая сложность связывается с существенной глубиной залегания полезного ископаемого; приуроченностью полезного ископаемого к комплексу неравномерно трещиноватых пород и высокопористых руд; высокими гидростатическими напорами в руднокристаллическом и каменноугольном горизонтах; неоднородностью по проницаемости водовмещающих пород каменноугольного и кристаллического водоносных горизонтов; повышенной минерализацией подземных вод руднокристаллического водоносного горизонта (рис. 2).

В основном, скопления подземных вод приурочены к образованиям осадочного чехла – это палеоген-неогеновый, турон-маастрихтский, альб-сеноманский, волжский, келловейский, нижнекаменноугольный водоносные горизонты. Руднокристаллический водоносный горизонт приурочен к породам кристаллического фундамента. Многие из приведенных водоносных горизонтов отличаются существенной водообильностью и значительными гидростатическими напорами [2, 4].

В целом, гидрогеологический разрез можно разделить на два водоносных комплекса – верхний и нижний. К нижнему водоносному комплексу относятся руднокристаллический, нижнекаменноугольный и келловейский водоносные горизонты, а к верхнему водоносному комплексу все оставшиеся из выше перечисленных водоносных горизонтов. Разделяющим верхний и нижний водоносные комплексы надежным водоупором служит толща, сложенная аргиллитовидными глинами верхнеюрского (киммеридж-оксфорд) возраста [2].

Результаты опытных водопонижений, а также многолетние наблюдения на подземном руднике показали, что в обводнении непосредственно месторождения основную роль играет нижний водоносный комплекс [2, 7]. Учитывая это, ранее уже была обоснована возможность отработки на первоочередном участке месторождения одного этажа без предварительного его



**Рис. 1.** Геологический разрез вкрест простирания рудного тела: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – песок; 3 – глина; 4 – мел; 5 – мел песчанистый, сурка; 6 – известняк; 7 – кавернозный известняк; 8 – глинистый сланец; 9 – суглинок; 10 – глинистый песок; 11 – аргиллит; 12 – мергель; 13 – выщелоченный известняк; 14 – кремнистый известняк; 15 – песчаник; 16 – перетолженные руды (осадочные); 17 – кварциты; 18 – граниты; 19 – метапесчаники; 20 – межрудные сланцы; 21 – кварц-серицит-хлоритовые сланцы; 22 – маритовые руды; 23 – гидрогематитовые руды; 24 – филлитовидные сланцы; 25 – `0` слой отработки; 26 – `1` слой отработки; 27 – `2` слой отработки.

[Fig. 1. Geological section across the strike of the ore body: (1) – top soil; (2) – sand; (3) – clay; (4) – chalk; (5) – sandy chalk, surka (6) – limestone; (7) – cavernous limestone; (8) – clay shale; (9) – loam; (10) – clay sand; (11) – mudstone; (12) – marl; (13) – leached limestone; (14) – siliceous limestone; (15) – sandstone; (16) – redeposited ores (sedimentary); (17) – quartzites; (18) – granites; (19) – metasand; (20) – nter - ore shales; (21) – quartz-sericite-chlorite shales; (22) – martite ores; (23) – hydrohematite ores; (24) – phyllite - like shales; (25) – `0` working out layer; (26) – `1` working out layer; (27) – `2` working out layer.]

осушения, для чего между зоной ведения очистных работ и нижнекаменноугольным водоносным горизонтом оставлен предохранительный рудный целик мощностью 65 м [11].

Яковлевское железорудное месторождение относится к типу месторождений с несамовозгорающимися рудами и породами. БЖР месторождения представлены, большей частью, гематитовыми разностями, обводнённые, не связанные с горючими сланцами, углями

и газовыми скоплениями.

Яковлевское месторождение БЖР не является склонным по горным ударам до глубины 760 м (гор. – 530 м), в связи с чем мероприятия по прогнозированию и предупреждению горных ударов не предусматриваются. Тем не менее, физико-механические свойства руды при большой налегающей толще осадочных пород (около 500 м) обуславливает высокое напряженно-деформированное состояние породного массива,



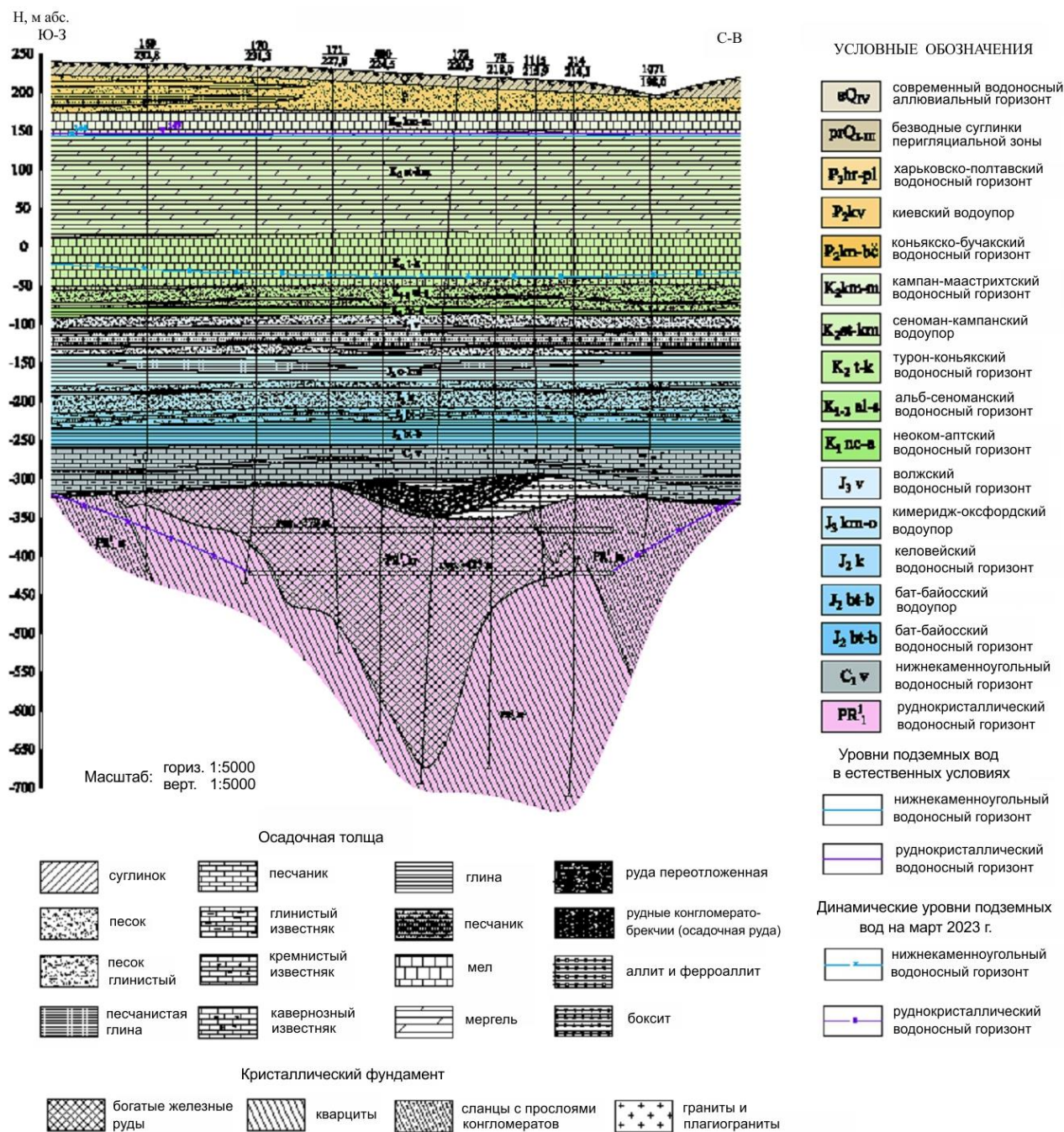


Рис. 2. Гидрогеологический разрез на участке детальной разведки месторождения.  
[Fig. 2. Hydrogeological section at the site of detailed exploration of the deposit.]

которое проявляется в деформациях крепления арочной податливой крепи горных выработок (рис. 3).

Система разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой является эффективной горной мерой охраны зданий и сооружений, природных объектов, расположенных на земной поверхности в зоне вредного влияния горных разработок.

Помимо основного назначения закладочного массива, заключающегося в управлении горным давлением при очистной выемке, а именно, сохранение устойчивости при его обнажении, обеспечение поддержания элементов систем, данный технологический

процесс позволяет дополнительно достигать экологического эффекта за счет утилизации шлака металлургического производства и использования в растворе высокоминерализованных шахтных вод.

#### Методика проведенных исследований

Для обеспечения экологической безопасной отработки богатых железных руд, расположенных под неосушенными водоносными горизонтами, проводятся наблюдения, которые обеспечивают контроль за движением подземных вод с целью оперативного прогнозирования развития ситуации в горном массиве.



**Рис. 3.** Деформации металлической арочной крепи в результате действия горного давления в породном массиве. [Fig. 3. Deformations of a metal arch support as a result of rock pressure in a rock mass.]

При этом, применяемая система защиты подземного рудника от подземных вод включает:

- формирование естественного предохранительного целика мощностью 65 м в подошве ниже-каменноугольного водоносного горизонта;
- производство очистных работ с применением системы разработки с полной закладкой выработанного пространства;
- организацию эффективного шахтного водоотлива;
- использование дренажных узлов наклонно-восстающих скважин и дренажно-опережающих скважин;
- устройство и развитие наблюдательной сети для мониторинга состояния породного массива и горных выработок;

В состав гидрогеомеханического мониторинга включены такие виды наблюдений, как:

- гидрогеологические наблюдения, направленные на определение участков и оценку интенсивности перетоков вод из вышележающих водоносных горизонтов в зону ведения горных работ;
- маркшейдерские наблюдения за деформациями рудного предохранительного целика (верхней границы горных работ), позволяющие фиксировать возникновение условий образования в водоупоре водопроводящих трещин. При отработке рудного предохранительного целика ведутся наблюдения за оседаниями подошвы осушенного каменноугольного водоносного горизонта;
- визуальные наблюдения за состоянием подземных выработок, позволяющие выделить ослабленные зоны в массиве БЖР, а также уточнить необходимое положение наблюдательных реперов и т.д.;
- маркшейдерские наблюдения на земной поверхности для контроля развития процесса сдвига горных пород и выбора мер охраны объектов, расположенных в зоне мульды движения или на ее границе;
- Маркшейдерские наблюдения на подземных наблюдательных станциях.

Для контроля деформаций водоупора используется система глубинных реперов, устанавливаемых в предохранительных целиках, составляя последователь-

но развиваемую наблюдательную станцию.

Реперы установлены в кровле выработок исходя из необходимости обеспечения прямой видимости с учетом геолого-структурных особенностей и технических условий эксплуатации выработок на расстояниях не более 50 м между собой.

На подземной наблюдательной станции используются два типа реперов: опорные и наблюдательные.

Опорные реперы представляют собой куски арматуры, заделанные в кварциты лежачего бока рудной залежи. Глубина заложения репера должна составлять не менее 1 м. При этом бетонироваться должна только глубинная часть репера (примерно 30 см). Оптимальным местом установки опорных реперов является свод выработки.

В качестве наблюдательных реперов в настоящее время используется конструкция реперов, представляющая собой стальной цилиндр диаметром 57 мм и высотой 212 мм. Внутри репера вдоль его продольной оси проходит стальной стержень диаметром 16 мм с фиксирующими шайбами на верхнем и нижнем торце тела репера. Соединение металлических частей репера выполняется сваркой по контуру прилегания деталей (рис. 4).

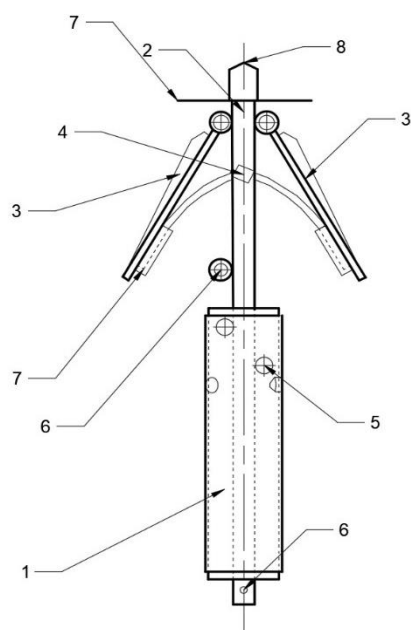
Инструментальные наблюдения на подземной станции включают:

- плановую и высотную привязку опорных реперов к исходным пунктам, а также периодический контроль их неподвижности в период осуществления наблюдений;
- начальные наблюдения для определения исходного положения глубинных и поверхностных реперов в вертикальной плоскости;
- повторные наблюдения за положением глубинных и поверхностных реперов для определения величин их вертикальных смещений.

Осадку (вертикальные смещения) получают путем сравнения высотного положения реперов в данной серии наблюдений с их исходным положением.

Таким образом, основной задачей системы геомеханического мониторинга является обеспечение безопасности ведения подземных горных работ. На





**Рис. 4.** Репер для геомеханического мониторинга, используемый на Яковлевском руднике: 1 – тело репера; 2 – стержень; 3 – подвижные пластины; 4 – пружина; 5 – отверстия для устройства «ежа»; 6 – отверстия для крепления троса; 7 – упорная пластина; 8 – вершина.

[Fig. 4. Benchmark for geomechanical monitoring used at the Yakovlevsky mine: (1) - benchmark; (2) - rod; (3) - movable plates; (4) - spring; (5) - holes for the tetrapod; (6) - holes for fastening the cable; (7) - thrust plate; (8) - top.]

Яковлевском подземном руднике подобная система реализована посредством контроля вертикальных смещений верхней границы выработанного пространства на подземной наблюдательной станции с последующим расчетом сдвижений и деформаций массива для определения состояния водоупора на текущий момент времени.

Как уже отмечено выше, Яковлевское месторождение БЖР отличается сложными гидрогеологическими условиями – наличием семи водоносных горизонтов над рудным телом. Общеизвестно, что при взаимодействии с водой устойчивость рудных целиков существенно снижается [12–18 и др.], что требует особой системы контроля за состоянием массива, позволяющей вести мониторинг объемных деформаций с развитием водопроводящих трещин в режиме реального времени.

В текущей системе мониторинга (с помощью глубинных реперов), ввиду принятой системы разработки месторождения с закладкой выработанного пространства, возникает проблема отсутствия преемственности данных, получаемых с восстанавливаемых реперов. Это не дает возможности выполнять надежную оценку геомеханического состояния массива в районе активного ведения горных работ.

На сегодняшний день в составе подземной наблюдательной станции установлено 162 репера, из которых в работе – 91 шт., законсервировано – 71 шт. Можно констатировать, что существующая система мониторинга не позволяет оперативно реагировать на критические деформации, и, тем самым, фиксировать возникновение условий образования в водоупорах водопроводящих трещин в режиме реального времени.

Однако, с учетом ряда недостатков существующей системы мониторинга (потеря реперов, долгий процесс нивелирования, необходимость камеральной обработки результатов измерений, периодический характер

измерений и др.), при разработке и внедрении новой автоматизированной системы контроля деформаций массива, наблюдения применяемыми методами должны быть сохранены в полном объеме.

#### Полученные результаты

Важно понимать, что существующая методика мониторинга позволяет фиксировать величину фактического смещения горных пород, но не динамику самого процесса оседания предохранительного целика. Также не достигается требуемая оперативность, одновременность получаемых и обрабатываемых результатов измерений, в результате чего не обеспечивается непрерывный контроль состояния массива в режиме реального времени, т.е. не обеспечивается система экологической безопасности разработки месторождения.

В связи с изложенным и при отсутствии альтернативных методов автоматизированного контроля осадки массива, возникает необходимость создания новой (оригинальной) автоматизированной системы непрерывного автоматизированного контроля состояния массива в подземных условиях.

Опытный образец разработанной системы предназначен для автоматизированного контроля за деформациями массива охранный целика с возможностью проведения мониторинга не только в заполненном закладочным материалом выработанном пространстве, но также и в прочих труднодоступных его местах.

Система технического обеспечения экологической безопасности включает: патроны для установки в массив; измерительный блок гидросистемы, состоящий из датчиков контроля, узлов заполнения гидросистемы рабочей жидкостью, аппаратно-программный комплекс сбора и обработки данных (рис. 5).

Работа автоматизированной системы контроля состояния массива основана на принципе сообщающихся сосудов.

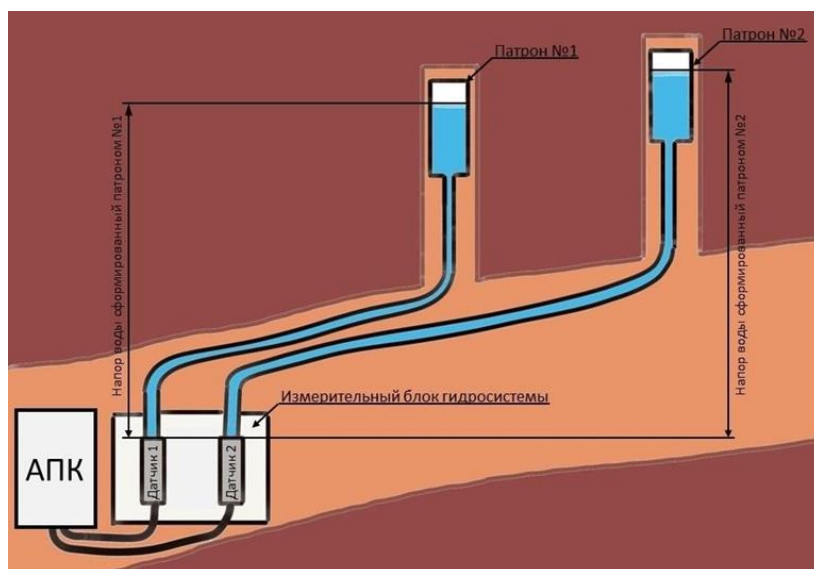


Рис. 5. Схема системы автоматизированного контроля за деформациями массива.  
[Fig. 5. Scheme of an automated control system for massif deformations.]

Патроны, представляющие из себя резервуары, наполненные жидкостью, устанавливаются в вертикальную скважину в своде трассы очистной заходки. Патроны соединены шлангами с датчиками давления жидкости, расположенными в измерительном блоке гидросистемы. Датчики давления регистрируют численное значение давления жидкости, эквивалентное расстоянию от водной поверхности в патроне до мембраны датчика давления по вертикали. При осадке патрона изменится положение поверхности воды, что приведет к пропорциональному снижению давления, действующего на мембрану датчика. Конструкция патрона будет обеспечивать неизменное положение поверхности жидкости при его наполнении, а также при определенном объеме опорожнения. На этапе разработки опытного образца будет рассмотрен вариант установки дополнительных датчиков давления непосредственно в патрон для контроля его работы в целях однозначного трактования работы системы. В случае установки дополнительного датчика давления в дно патрона, вне зависимости от положения поверхности жидкости в патроне, численное значение давления жидкости, эквивалентное расстоянию от водной поверхности в патроне до мембраны датчика давления по вертикали будет определяться по разности показаний между парой датчиков (в измерительном блоке гидросистемы и в патроне).

Измерительный блок предназначен для размещения в нем датчиков давления в одной горизонтальной плоскости, а также содержит в себе систему заполнения гидросистемы рабочей жидкостью.

Кабели от датчиков выходят из измерительного блока и подключаются к клеммам аппаратно-программного комплекса сбора и обработки данных, предназначенного для регистрации данных, полученных от датчиков давления, перевода измеренных величин в физические значения, накопления и архивации полу-

ченных данных.

В качестве приборов для измерения давления, в опытном образце системы будут применяться высокоточные датчики давления с погрешностью, не превышающей 0.2 % от диапазона измерений.

Системы, работающие по аналогичному принципу широко распространены в сфере мониторинга гидротехнических сооружений гидроэлектростанций. В гидротехнике схожие измерительные системы принято называть гидростатическими нивелирами или автоматизированными гидронивелирами, однако их применение на Яковлевском руднике невозможно ввиду невозможности их эксплуатации без свободного доступа к измерительным точкам.

### Выводы

Горно-геологические, гидрогеологические и горно-технические условия Яковлевского рудника характеризуются как весьма сложные, что обусловлено большой мощностью перекрывающих осадочных пород, наличием существенных ресурсов подземных вод и физико-механическими свойствами разрабатываемой богатой руды.

Существующая система обеспечения экологической безопасности разработки месторождения в условиях закладки выработанного пространства не позволяет обеспечить преемственность данных, получаемых с восстанавливаемых геомеханических реперов. Это обстоятельство не позволяет полноценно оценить геомеханическое состояние массива в районе активного ведения горных работ (деформации рудного предохранительного целика в непрерывном режиме) и обеспечить экологическую безопасность его разработки.

Для повышения эффективности системы экологической безопасности предложен оригинальный способ контроля оседаний массива, который дает возможность получить высотную отметку удаленной

зацементированной измерительной точки и обеспечить непрерывный контроль за деформациями предохранительного целика.

Ввиду того, что измерительный блок гидросистемы с датчиками устанавливается за пределами зоны производства горных работ, в нишах капитальных горных выработках, а также имеет возможность подключения дополнительных датчиков и других АПК, можно сделать вывод о технической возможности и целесообразности размещения подобных систем мониторинга в горных выработках. Развитие систем мониторинга в дальнейшем позволит сформировать единую систему экологической безопасности всего подземного рудника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яницкий Е. Б., Игнатенко И. М. Горнодобывающая отрасль Белгородской области: наука и производство // *Руда и Металлы*. 2020. № 7. С. 44–50.
2. Сергеев С. В., Лябах А. И., Квачев В. Н., Севрюков В. В. Геолого-гидрогеологическая характеристика Яковлевского месторождения // *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки*. 2011. Вып. 15. № 9 (104). С. 147–154.
3. Орлов В. П., Шевырев И. А., Соколов Н. А. Железные руды КМА. Под ред. В. П. Орлова. М.: Изд-во Геоинформарк, 2001. 616 с.
4. Сергеев С. В., Лябах А. И., Зайцев Д. А. Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА // *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки*. 2011. Вып. 14. № 3 (98). С. 200–208.
5. Стрелецкий А. В. Современные проблемы разработки рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях / О.В. Трушко, А.А. Сидоренко, А.В. Стрелецкий // *Маркшейдерия и недропользование*. 2011, № 2, С. 7–8.
6. Айнбиндер И. И., Овчаренко О. В., Пацкевич П. Г. Обоснование параметров геотехнологии добычи железных руд на Яковлевском месторождении // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. № 12. С. 8–14.
7. Зотеев О. В., Макаров А. Б., Фаустов С. И. Проблемы разработки Яковлевского железорудного месторождения // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. УГГУ. 2008. Т. 8. С. 4–8.
8. Агошков М. И., Борисов С. С., Боярский В. А. Разработка рудных и нерудных месторождений. М.: Недра, 1983. 424 с.
9. Trushko, V. L., Protosenya A. G., Dashko R. E. Geomechanical and hydrogeological problems of the Yakovlevsky Deposit development // *Zapiski Gornogo instituta*. 2010. Vol. 185. pp. 9–18.
10. Sozonov K. V. Stableness improvement of the excavations during the chamber-and-pillar development of Yakovlevsky Deposit reserves // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*. 2018. Vol. 1. pp. 1653–1657.
11. Сергеев С. В., Лябах А. И., Зайцев Д. А. Инженерно-геологическое сопровождение горных работ при разработке рыхлых руд КМА // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 11. С. 41–44.
12. Дашко Р. Э., Волкова А. В. Исследование возможности прорывов подземных вод из нижнего каменноугольного водоносного горизонта в горные выработки Яковлевского рудника // *Записки Горного института*. 2006. Т. 168. С. 142–149.
13. Дашко Р. Э., Ковалева Е. Н. Комплексный мониторинг подземных вод на Яковлевском месторождении богатых железных руд и его роль в повышении безопасности ведения горных работ в условиях неосушенных водоносных горизонтов // *Записки Горного института*. 2011. Т. 190. С. 78–85.
14. Хаустов В. В., Шаповалов И. Г., Мелкумов Д. Н., Волкова Д. С., Харченков В. А. О геотехническом мониторинге при строительстве в сложных грунтовых условиях // *Актуальные проблемы экологии и охраны труда*: сб. статей XI Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Юго-Западного государственного университета (Курск, 4 июня 2019 г.). Курск: ЮЗГУ, 2019, С. 332–338.
15. Abin Thomas, Jayalakshmi S., Jerin K. Antony, Kavya S. Kumar, Sreepriya K. V., Development of Self Compacting Concrete Mix and Analysis of Compressive Strength by Replacement of Fines with Iron Ore Fines., *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 8(4). 2017. pp. 1928–1937.
16. Eremenko V. A., Neguritsa D. L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses // *Eurasina mining*. 2016. No. 1. pp. 21–24.
17. Ian Gray, Xiaoli Xhao, Lucy Liu Anisotropic and nonlinear properties of rock including fluid under pressure // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*. 2018. pp 41–46.
18. Trushko, V. L., Protosenya A. G. Geomechanical Models and Prognosis of Stress-strain Behavior of Rock Ore in Development of Unique Deposits of Rich Iron Ores Under Water-bearing Formations // *Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol. 12. pp. 2879–2888.



## Monitoring of rock mass displacement during underground mining of the Yakovlevsky high-grade iron ore deposit

©2023 D. V. Golubnichy<sup>1</sup>, D. H. Gilyazev<sup>1</sup>, I. M. Ignatenko<sup>2✉</sup>, V. V. Khaustov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Yakovlevsky GOK LLC, Belgorod Region, 309076, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», 85 Pobeda ul., Belgorod, 308015, Russian Federation*

### Abstract

**Introduction:** The very complex mining and geological conditions of the Yakovlevsky high-grade iron ore deposit were considered, which require the organization of reliable monitoring of hydrogeological and geomechanical processes accompanying mining operations. The most significant factors in the formation of volumetric deformations, including very complex hydrogeological conditions and physical and mechanical properties of the ore with a large overlying thickness of sedimentary rocks have been established.

**Materials and Methods:** The analysis of the existing monitoring method was carried out. This method allows fixing the magnitude of the actual displacement of rocks, but it does not determine the dynamics of the process of subsidence of the pillar support and it does not allow continuous monitoring of the state of the massif in real time.

**Results and Discussion:** An original system, constructed based on the principle of systems of monitoring hydraulic structures (“hydrostatic level”) has been developed. The technical feasibility and expediency of placing such monitoring systems not only in the goaf filled with filling material, but also in other hard-to-reach places was shown. The scaling of such a system will allow to form a single monitoring network within the entire underground mine.

**Keywords:** rich iron ores, rock pressure, volumetric deformations, hydrogeomechanical monitoring, observational reference point, pressure sensor.

**Funding:** The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Task No. FZWG-2023-0011

**For citation:** Golubnichy D. V., Gilyazev D. H., Ignatenko I. M., Khaustov V. V. Monitoring of rock mass displacement during underground mining of the Yakovlevsky high-grade iron ore deposit // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 2, pp. 94–103. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/94-103>

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

### REFERENCES

1. Janickij E.B., Ignatenko I.M. Gornodobyvajushhaja otrasl' Belgorodskoj oblasti: nauka i proizvodstvo [Mining industry of the Belgorod region: science and production]. *Ruda i Metally*

– *Ore and Metals*, 2020, no. 7, pp. 44–50 (In Russ.)

2. Sergeev S.V., Ljabah A.I., Kvachev V.N., Sevrjukov V.V. Geologo-gidrogeologicheskaja harakteristika Jakovlevskogo mestorozhdenija [Geological and hydrogeological characteris-



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Ignat M. Ignatenko, e-mail: [ignatenko\\_i@bsu.edu.ru](mailto:ignatenko_i@bsu.edu.ru)

tics of the Yakovlev deposit]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Estestvennye nauki – Scientific bulletin of BelSU. Natural Sciences series*, 2011, I. 15, no. 9 (104), pp. 147–154 (In Russ.)

3. Orlov V. P., Shevyrev I. A., Sokolov N. A. *Zheleznye rudy KMA* [KMA iron ores]. Ed. V. P. Orlova. Moscow, Geoinformark Publishing House publ., 2001, 616 p. (In Russ.)

4. Sergeev S.V., Ljabah A.I., Zajcev D.A. Opyt razrabotki bogatyh zheleznyh rud Jakovlevskogo mestorozhdenija KMA [Experience in the development of rich iron ores of the Yakovlevsky deposit KMA]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Estestvennye nauki – Scientific Vedomosti BelSU. Natural Sciences series*, 2011, I. 14, no. 3 (98), pp. 200–208 (In Russ.)

5. Streleckij A. V. Sovremennye problemy razrabotki rudnyh mestorozhdenij v slozhnyh gorno-geologicheskikh usloviyah [Modern problems of ore deposits development in difficult mining and geological conditions] *Markshejderija i nedropol'zovanie – Surveying and subsoil use*, 2011, no. 2, pp. 7–8 (In Russ.)

6. Ajnbinder I. I., Ovcharenko O. V., Packevich P. G. Obosnovanie parametrov geotekhnologii dobychi zheleznyh rud na Jakovlevskom mestorozhdenii [Substantiation of parameters of geotechnology of iron ore extraction at the Yakovlevsky deposit] *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' – Mining information and Analytical Bulletin*, 2015, no. 12, pp. 8–14 (In Russ.)

7. Zoteev O. V., Makarov A. B., Faustov S. I. Problemy otrabotki Jakovlevskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija [Problems of development of the Yakovlevsky iron ore deposit] *Izvestija vysshih uczebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. UGGU – Izvestia of higher educational institutions. Mining magazine. UGGU*, 2008, vol. 8, pp. 4–8 (In Russ.)

8. Agoshkov M. I., Borisov S. S., Bojarskij V. A. *Razrabotka rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij* [Development of ore and non-metallic deposits]. Moscow, Nedra publ., 1983, 424 p. (In Russ.)

9. Trushko, V. L., Protosenya A. G., Dashko R. E. Geomechanical and hydrogeological problems of the Yakovlevsky Deposit development. *Zapiski Gornogo instituta*, 2010, vol. 185, pp. 9–18.

10. Sozonov K.V. Stableness improvement of the excavations during the chamber-and-pillar development of Yakovlevsky Deposit reserves. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*, 2018, vol. 1, pp. 1653–1657.

11. Sergeev C. B., Ljabah A. I., Zajcev D. A. Inzhenerno-geologicheskoe soprovozhdenie gornyh rabot pri razrabotke ryhlyh rud KMA [Engineering and geological support of mining operations during the development of loose ores of KMA]. *Gornyj*

*informacionno-analiticheskij bjulleten' – Mining information and analytical bulletin*, 2011, no. 11, pp. 41–44 (In Russ.)

12. Dashko R. Je., Volkova A. V. Issledovanie vozmozhnosti proryvov podzemnyh vod iz nizhnego kamennougol'nogo vodonosnogo gorizonta v gornye vyrabotki Jakovlevskogo rudnika [Investigation of the possibility of groundwater breakthroughs from the lower carboniferous aquifer into the mine workings of the Yakovlevsky mine]. *Zapiski Gornogo instituta – Notes of the Mining Institute*, 2006, vol. 168, pp. 142–149 (In Russ.)

13. Dashko R. Je., Kovaleva E. N. Kompleksnyj monitoring podzemnyh vod na Jakovlevskom mestorozhdenii bogatyh zheleznyh rud i ego rol' v povyshenii bezopasnosti vedenija gornyh rabot v usloviyah neosushennyh vodonosnyh gorizontov [Integrated monitoring of groundwater at the Yakovlevsky deposit of rich iron ores and its role in improving the safety of mining operations in conditions of undried aquifers]. *Zapiski Gornogo instituta – Notes of the Mining Institute*, 2011, vol. 190, pp. 78–85 (In Russ.)

14. Haustov V. V., Shapovalov I. G., Melkumov D. N., Volkova D. S., Harchenkov V. A. O geotekhnicheskome monitoringe pri stroitel'stve v slozhnyh gruntovyh usloviyah [About geotechnical monitoring during construction in difficult ground conditions]. *Aktual'nye problemy jekologii i ohrany truda: sb. statej XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 55-letiju Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [XI International Scientific and Practical Conference dedicated to the 55th anniversary of Southwestern State University]. Kursk, South State University publ., 2019, pp. 332–338 (In Russ.)

15. Abin Thomas C.A., Jayalakshmi S., Jerin K. Antony, Kavva S. Kumar, Sreepriya K.V., Development of Self Compacting Concrete Mix and Analysis of Compressive Strength by Replacement of Fines with Iron Ore Fines., *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 8(4), 2017, pp. 1928–1937.

16. Eremenko V. A., Neguritsa D. L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. *Eurasia mining*, 2016, no. 1, pp. 21–24.

17. Ian Gray, Xiaoli Xhao, Lucy Liu Anisotropic and nonlinear properties of rock including fluid under pressure. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*, 2018, pp 41–46.

18. Trushko, V. L., Protosenya A. G. Geomechanical Models and Prognosis of Stress-strain Behavior of Rock Ore in Development of Unique Deposits of Rich Iron Ores Under Water-bearing Formations. *Biosciences, Biotechnology Research Asia*, 2015, vol. 12, pp. 2879–2888.

Голубничий Денис Валерьевич, генеральный директор ООО «Яковлевский ГОК», Белгородская область, РФ; e-mail: DV.Golubnichy@severstal.com; ORCID 0009-0002-1419-3432

Гилязев Дамир Халляфович, начальник службы гидромеханического мониторинга ООО «Яковлевский ГОК», Белгородская область, РФ; e-mail: dkh.giliazev@severstal.com; ORCID 0009-0001-7211-2330

Игнатенко Игнат Михайлович, к. т. н., доцент, директор института наук о Земле Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, РФ; e-mail: ignatenko\_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774

Хаустов Владимир Васильевич, д. г.-м. н., профессор кафедры прикладной геологии и горного дела Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, РФ; e-mail: khaustov@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-1895-7367

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Denis V. Golubnichy, General Director of Yakovlevsky GOK LLC, Belgorod Region, Russian Federation; e-mail: DV.Golubnichy@severstal.com; ORCID 0009-0002-1419-3432

Damir H. Gilyazev, Head of the Hydro-mechanical monitoring Service of Yakovlevsky GOK LLC, Belgorod Region, Russian Federation; e-mail: dkh.giliazev@severstal.com; ORCID 0009-0001-7211-2330

Ignat M. Ignatenko, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Earth Sciences of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, Russian Federation; e-mail: ignatenko\_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774

Vladimir V. Khaustov, PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., professor of the Department of Applied Geology and Mining of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, Russian Federation; e-mail: khaustov@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-1895-7367

Authors have read and approved the final manuscript.