УДК 624.131:551.3

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-мин. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
И.В.АЛЕКСЕЕВ, *студент, alekseew.ivan@gmail.com*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
I.V.ALEXEEV, *student, alekseew.ivan@gmail.com*
Saint Petersburg State Mining University

МИКРОБНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены условия развития микроорганизмов и источники их поступления в рудное тело богатых железных руд (БЖР) Яковлевского месторождения (Курская магнитная аномалия). Отмечено влияние увлажнения и контаминации БЖР на рост бактериальной массы, снижение их прочности и устойчивости. Выявлены различные физиологические группы и формы микроорганизмов в подземном пространстве рудника и проанализировано их воздействие на конструкционные материалы, применяемые для крепления выработок.

***Ключевые слова*:** подземные выработки, микроорганизмы, бактериальная масса, биокоррозия, устойчивость богатых железных руд.

MICROBIAL ACTIVITY IN MINE WORKINGS AND ITS INFLUENCE ON HIGH-GRADE IRON ORE'S AND CONSTRUCTIONAL MATERIAL'S PROPERTIES

Development's conditions and sources of microorganisms in high-grade iron ore (HGIO) of Jakovlevsky deposit (KMA) were considered. Influence of watering, draining and contamination in iron ore on decreasing of shear strength and growth of bacterial mass were noticed. Different physiological groups and species composition of microorganisms in underground space were defined, and their influences on constructional materials which are used to coffer mine workings were studied.

***Key words*:** mine workings, microorganisms, bacterial mass, biocorrosion, stability of high-grade iron oke.

Богатые железные руды (БЖР) Яковлевского месторождения представляют собой элювиальные образования, связанные с формированием протерозойской коры химического выветривания. Как известно, химические коры выветривания образуются под воздействием целого ряда факторов, к важнейшим из которых относится участие в преобразовании вещества материнских пород богатой микрофлоры. Ее активная жизнедеятельность наблюдается и в настоящее время. Бактерии, обнаруживаемые на большой глубине в толще обводненных горных пород, рассматриваются как постоянно развивающиеся формы древней микрофлоры, чье существование обусловлено автолитическими ферментативными процессами, приводящими к гидролитическому распаду сложных молекул и деструкции токсичных продуктов метаболизма.

Часть микроорганизмов может быть привнесена в рудную толщу при нисходя-

щем перетекании вод через поры и трещины из нижнекаменноугольного водоносного горизонта, в котором наблюдается генерация сероводорода за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий, относящихся к анаэробным формам гетеротрофных микроорганизмов, которые развиваются обычно в сообществе с богатой микрофлорой. В нижней и средней частях разреза нижнекаменноугольной толщи карбонатных пород прослеживаются тонкие прослои углей и углистых глин, органическое вещество которых рассматривается в качестве питательного и энергетического субстрата для такого рода биоты. Кроме того, микроорганизмы поступают в подземные выработки с потоками воздуха через вентиляционные системы рудника, а также привносятся с поверхности людьми и механизмами.

Для развития микроорганизмов в пределах рудного тела сформировался комплекс благоприятных факторов: оптимальные значения температуры, pH и Eh, повышенная минерализация подземных вод с разнообразными макро- и микрокомпонентами, действие слабых магнитных полей и эксгаляции радона по системе тектонических трещин*.

С 2003 г. на Яковлевском руднике начали проводиться специализированные микробиологические исследования. Неотъемлемой их частью стало выявление закономерностей влияния деятельности микробиоты на прочность и устойчивость рыхлых железных руд. Неоднократно производился отбор проб БЖР для микробных анализов. Наибольшее число микроорганизмов фиксировалось в образцах руд со слизью, отобранных из плохо вентилируемых выработок. Результаты проведенных анализов показали, что микробная деятельность характерна для всего рудного тела при изменении численности и видового состава микрофлоры.

Выполненные работы включали оценку влияния степени увлажнения рыхлых разностей БЖР и величины бактериальной массы (БМ) на их сопротивление сдвигу и, следовательно, на их устойчивость в подземных выработках. Было отмечено, что угол внутреннего трения увлажненной руды при содержании БМ более 100 мкг/г в 3-4 раза меньше, чем у руды в воздушно-сухом состоянии, что связано с формирующимися бактериальными пленками, сорбированными на дисперсных частицах. Кроме того, было исследовано влияние контаминации БЖР соляровым маслом на рост БМ. Для бактерий, легко усваивающих большинство органических веществ, поступление углеводородов служит дополнительным питательным и энергетическим субстратом. Потому небольшая добавка соляровго масла в обводненные руды приводила к активизации деятельности гетеротрофных бактерий и заметному повышению содержания БМ, способствующей снижению прочности руд и повышению агрессивности подземной среды.*

Последний этап микробиологических исследований связан с отбором проб группой мониторинга, состоявшей из сотрудников Санкт-Петербургского горного института, летом 2010 г. В период проведения полевого обследования подземных выработок фиксировались проявления деятельности микроорганизмов в виде слизей, плесеней, натечных форм. Кроме того, наблюдалось широкое распространение макроформ грибов: длинных гифальных тяжей, свисавших с арочной крепи, несовершенных базидиальных грибов. Для оценки особенностей развития биоты в рудном теле было отобрано 32 пробы различных проявлений биологической активности.

Микологические анализы проводились с использованием для посевов питательной среды Чапека – Докса, картофельно-глюкозного агара (КГА), агара Сабуро и Сусло-агара. Наиболее богатыми по составу оказались пробы грибных субстратов, сталактитов и гифальных тяжей: содержание микроорганизмов достигало 5500 колониеобразующих единиц (КОЕ/г). Изучение тяжей гифальных грибов, отобранных на 370-м горизонте, показало наличие шести форм микромицетов:

---

* *Дашко Р.Э., Волкова А.В.* Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов / Р.Э.Дашко, А.В.Волкова // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.168. С.165-174.

Dashko R.E., Volkova A.V. Microbial activity in mine workings and its influence on high-grade iron ore's and constructional material's properties // Procudings of Mining Institute. Saint Petersburg, 2006. Vol.168. P.165-174.

Absidia corymbifera, *Aspergillus versicolor*, *Doratomyces stemonitis*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor plumbeus*, *Trichoderma viride*. Сходный видовой состав обнаружен в пробах гифальных грибных тяжей и в субстрате базидиальных грибов на 425-м горизонте. В указанных пробах также выявлены *Absidia coerulea*, *Cladobotryum sp.*, *Gliocladium catenulatum*, *G.penicillioides*, *Mortierella ambigua*. Высокие содержания микромицетов (более 2900 КОЕ/г) отмечены в светлых железистых наростах и темных новообразованиях – сталактитах на поверхности арочной крепи РШ № 3 и ШЛБ-2 425-го горизонта. В этих пробах преобладали представители родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium и Trichoderma*, часто представленные сразу несколькими видами.

Очень высокие содержания микромицетов (до 4900 КОЕ/г) обнаружены при посевах на фрагменты деревянной забутовки, пораженной плесенью. Пробы были отобраны в выработках 370-го и 425-го горизонтов. В результате анализов обнаружены представители родов *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Thysanophora*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Absidia*, *Cladosporium*, *Doratomyces*, *Fusarium*, *Gliocladium* и *Mucor*. На поверхности деревянной забутовки создаются оптимальные условия для быстрого роста и накопления биомассы грибов: высокая температура и повышенная влажность среды, а также наличие богатого питательного субстрата.

Всего на данном этапе исследований было выявлено 29 видов микромицетов. Доминирующими в исследованных пробах оказались пять видов: *Trichoderma viride* (в 66,6 % проб), *Fusarium oxysporum* (в 53,3 %), *Gliocladium catenulatum* (в 46,6 %), *Mucor plumbeus* (в 40,0 %), *Doratomyces stemonitis* (в 33,3 %). По количеству видов преобладают представители родов *Penicillium* (пять видов), *Mucor* (три вида) и *Paecilomyces* (три вида). Количество видов в разных пробах различно. Отмечено большое разнообразие и численность мукоровых грибов, принадлежащих родам *Mucor*, *Absidia*, *Mortierella* и *Rhizopus*. По сравнению с предшествующими периодами зафиксировано увеличение численности грибной флоры в 3-4 раза.

При бактериологических исследованиях высев проводили на твердые питательные среды: питательный агар, среду для олиготрофов и агаризованную среду Бейеринка с тиосульфатом. Результаты анализов показали повсеместное развитие тионовых бактерий, содержание которых практически по всех пробах превышает 10^4 КОЕ/г. Анализ слизей, отобранных из шпуров, труб, самоизливов в стенках и почве выработок, выявил среднюю и умеренно высокую численности сапрофитных бактерий (порядка 10^5 КОЕ/г), высокую численность актиномицетов и тионовых бактерий. В слизях из самоизливов с активным выделением сероводорода содержание сапрофитов еще выше: $3 \cdot 10^5$ и более 10^6 КОЕ/г. Численность актиномицетов и тионовых бактерий при этом снижена.

Наибольшее количество микроорганизмов обнаружено при анализе гифальных тяжей, плесени с арочной крепи и черного землистого субстрата семейства базидиальных грибов. В указанных пробах численность организмов превышает 10^6 КОЕ/г. Численность актиномицетов примерно сопоставима с указанной. Сапрофиты представлены в основном бактериями рода *Bacillus*. Значительное количество актиномицетов выявлено в светлых железистых наростах металлической крепи на 425-м горизонте – около $5 \cdot 10^5$ КОЕ/г, что превышает общую численность остальных микроорганизмов вдвое. Преобладание микромицетов замечено в некоторых пробах слизей, в белой плесени и в субстрате базидиальных грибов.

Выполненный бактериологический анализ показал широкое развитие хемолитотрофных бактерий. Были выявлены представители рода *Bacillus*, *Clostridium*, железобактерии, магнитные бактерии и актиномицеты. Все они обладают высокой биокоррозионной активностью, связанной с их способностью использовать материалы или их компоненты в качестве источника углерода и энергии. Кроме того, они выделяют в окружающее пространство агрессивные продукты метаболизма и способствуют ускорению электрохимических реакций на поверхностях металлов.

В хорошо аэрируемых зонах целлюлозу и лигнин, содержащиеся в древесине забутовки, используют аэробные микроорганизмы (грибы и миксобактерии). Главную роль в этом процессе играют представители грибных родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Trichoderma*. В анаэробных условиях древесину разрушают в основном клостридии. Они способны сбраживать разные органические вещества с образованием ряда кислот и большого количества H_2 и CO_2. Выделение последнего приводит к росту углекислой агрессивности подземных вод по отношению к цементам и бетонам.

Разрушение металлических конструкций и повреждение бетона происходит также под воздействием агрессивных кислот, выделяемых бактериями и грибами, обычно обладающими окислительным типом метаболизма. Например, представители родов *Rhizopus* и *Mucor* в присутствии O_2 наряду с молочной кислотой образуют фумароловую, янтарную, яблочную, муравьиную и уксусную кислоты, а также этанол – вещество, ведущее к повышению растворяющей способности подземных вод по отношению к конструкционным материалам.

Повреждение металлических конструкции, связано еще и с деятельностью железобактерий, которая приводит к образованию дифференцированно аэрируемых ячеек на поверхности корродируемого субстрата. Поселившиеся на металлической конструкции с проточной водой, содержащей кислород, железобактерии образуют слизистые скопления, которые благодаря структуре оболочек обладают высокой механической прочностью и способны сопротивляться току воды. Образующиеся слизи оказывают активное разрушающее действие на породы и руды, бетоны и металлы, способствуют снижению угла внутреннего трения БЖР рыхлого типа.*

Мониторинг микробиологической деятельности и ее влияния на изменение свойств БЖР и разрушение конструкционных материалов позволяет разработать мероприятия, направленные на повышение безопасности ведения горных работ.

* *Нетрусов А.И.* Микробиология: Учебник. М., 2006.
Netrusov A.I. Microbiology: Textbook. Moscow, 2006.