

С. С. Потапов, С. М. Блинов

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В КИЗЕЛОВСКОМ  
УГОЛЬНОМ БАСЕЙНЕ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ  
ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛИЗАЦИЙ**

S. S. Potapov, S. M. Blinov

**GEOECOLOGICAL SITUATION IN KIZEL COAL BASIN  
ON THE BASIS OF THE TECHNOGENIC MINERALISATIONS  
STUDY**

The estimation of a geoecological situation in Kizel coal basin is carried out. The next technogenic sulphate phases are established: jarosite –  $\text{KFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , epsomite –  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , melanterite –  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , szomolnokite –  $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ , coquimbite –  $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$ , halotrichite –  $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \times 22\text{H}_2\text{O}$  and potassium alum –  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$ . Potassium alum are the first find for basin. The local sites of sulphate pollution are most shown on coal heaps of Gubacha coke-chemical factory. But the acid mine waters are basic regional pollution of the environment. The iron hydroxides are main pollution on acid mine waters auto-effusion.

Кизеловский угольный бассейн – это месторождения каменного угля на территории Пермской области, разработка которых в небольших объемах начата с конца XVIII века. Масштабное освоение месторождений шахтным способом начато во второй половине XX века. Закрытие шахт бассейна в конце XX века не стабилизировало геоэкологическую ситуацию в регионе. С целью оценки ситуации на основе гидрогеологических наблюдений шахтных самоизливов, подотвальных вод и изучения современных техногенных минерализаций в местах складирования отвалов угольных шахт летом 2002 г. была проведена совместная экспедиция лаборатории геологии техногенных процессов Естественно-научного института при ПГУ и лаборатории минералогии техногенеза и геоэкологии Института минералогии УрО РАН. Предварительные результаты исследований представлены в настоящей статье.

## Минералообразование на самоизливах шахтных вод на поверхность

Геолого-гидрогеологические условия Кизеловского бассейна имеют две основные особенности, которые определили ухудшение экологической ситуации после начала разработки месторождения. Первая – угленосные породы залегают между закарстованными толщами карбонатных пород, что обусловило значительную обводненность угледобывающих шахт. Вторая – породы угленосной толщи характеризуются высоким содержанием сульфидной и органической серы, достигающим 12–15 %, при среднем уровне 5–8 % [7, 8]. Основной формой нахождения серы является тонкодисперсный пирит, который не устойчив в окислительных условиях. В результате прохождения шахтных выработок кислород проникает к угленосным породам и развивается сернокислотный процесс, детально описанный многими исследователями [4, 9, 11, 15 и др.]. Этот процесс заключается в окислении сульфидов железа при участии тионовых бактерий с образованием серной кислоты.

В результате рассмотренных особенностей в горных выработках формировалось значительное количество кислых шахтных вод, имеющих рН ~2.5–3, минерализацию 1.5–3 г/л (редко до 10 г/л), и характеризующихся высоким содержанием сульфат-иона, железа (основной формой было  $Fe^{3+}$ ), алюминия, тяжелых металлов. В период работы бассейна воду из шахт приходилось постоянно откачивать на поверхность и сбрасывать в реки со средним расходом около 12–14 тыс. м<sup>3</sup>/час.

С переходом страны к рыночной экономике добыча угля в Кизеловском бассейне признана нерентабельной. Ликвидация шахт в период 1990-х гг. не решила экологических проблем. Откачка кислых шахтных вод на поверхность прекращена. Однако, после восстановления уровня подземных вод в течение нескольких лет сформировался самопроизвольный излив шахтных вод на поверхность. Их суммарный расход в настоящее время составляет около 2.5 тыс. м<sup>3</sup>/час, что в несколько раз меньше, чем в период работы бассейна. Однако, значительно увеличилась их минерализация – до 25 г/л и более, а также изменился их химический состав (табл.).

Произошло резкое увеличение концентрации двухвалентного железа – до 5 г/л. При смешении с речными водами и увеличением рН,  $Fe^{2+}$  дольше, чем  $Fe^{3+}$  преобразуется в осадок, что привело к значительному загрязнению рек на протяжении десятков километров до самых устьев. Этого не наблюдалось при работе шахт. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых выведены

**Химический состав самоизливов шахтных вод  
Кизеловского угольного бассейна, в мг/л**

Место отбора	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Минерализация	pH
Самоизлив шахты «Им. Ленина»	16810	55	601	546	183	18	5054	22	766	24059	3.78
Самоизлив группы шахт из штольни шахты «Им. Калинина»	13256	36	501	306	1379	12	4216	265	н.о.	19975	3.07
Самоизлив в р. Б. Гремячую группы шахт г. Гремячинска	6244	22	300	182	450	1	1619	69	167	9058	3.22
Самоизлив шахты «Белый Спой»	1152	19	80	12	87	2	279	5	46	1684	3.65
Самоизлив из штольни шахты «Им. 40 лет Октября»	566	19	40	12	94	н.о.	н.о.	69	3	806	2.94
Отвал углеобогащения Губахинского коксохимического завода, отвальные воды из выемки	3554	34	400	486	1124	20	9913	1535	155	50631	1.68

*Примечание:* HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> – анализом не обнаружены; н.о. – анализом не обнаружено.

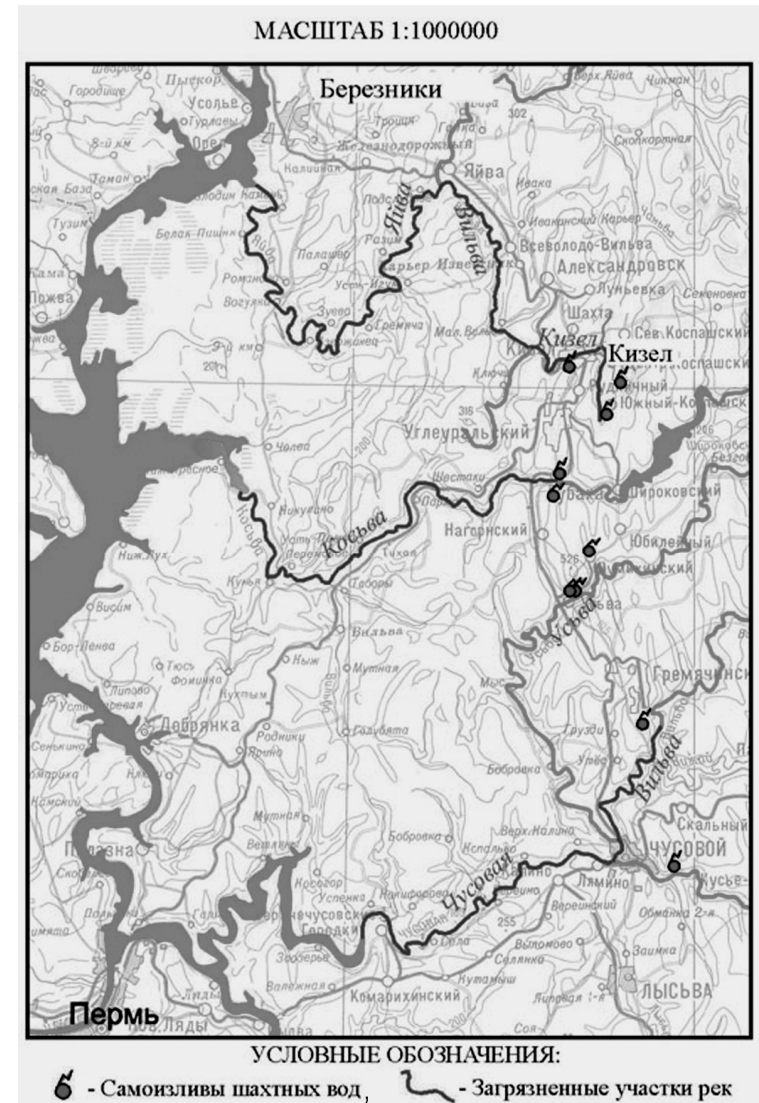


Рис. 1. Экологическая ситуация в Кизеловском угольном бассейне.

из водопользования [12]. Самопроизвольный излив шахтных вод, происходящий более чем в 12 точках, в настоящее время является главной экологической проблемой региона (рис. 1).

В результате выхода шахтных вод на поверхность и их поступления в реки происходит интенсивное техногенное минералообразование. В основном эти процессы связаны с формированием на щелочном геохимическом барьере техногенных донных осадков рек на участках сброса шахтных вод. Образующийся осадок представлен преимущественно рентгеноаморфными гидроксидами железа. Масштабы процесса таковы, что ежедневно в реках образуется более 3 тонн техногенных донных отложений.

Современное техногенное минералообразование идет также и на участках выхода шахтных вод на поверхность. Образование техногенных минералов происходит в основном на щелочном, окислительном и испарительном геохимических барьерах. Количество образующегося вещества здесь значительно меньше, но в тоже время для этих участков характерно большее разнообразие минеральных видов, а также формирование уникальных по морфологии образований.

*Самоизлив шахты «Белый Спой».* Самопроизвольный излив шахтных вод на поверхность из шурфа шахты «Белый Спой» существует уже достаточно долгий период времени – 16 лет. Откачка шахтных вод на поверхность прекратилась в 1983 г., после закрытия шахты. В течение 3-х лет наблюдалось восстановление (повышение) уровня подземных вод, и в 1986 г. шахтные воды стали изливаться на поверхность (рис. 2). В начальный период существования самоизлива минерализация шахтных вод значительно превышала минерализацию, существовавшую до закрытия шахты. В последующий период наблюдалось снижение концентрации загрязнителей. В последние 5 лет состав шахтных вод стабилизировался и имеет следующие показатели: рН – около 3; минерализация – 1.5–2 г/л;  $\text{SO}_4^{2-}$  – около 1200 мг/л;  $\text{Fe}^{2+}$  – около 300 мг/л.

Длительное существование самопроизвольного излива высокоминерализованной шахтной воды с высокими концентрациями ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  привело к интенсивному минералообразованию сульфатов и гидроксидов железа с образованием морфологических форм, характерных для травертиновых построек. На крутом склоне, где вода шахтного самоизлива (по терминологии горняков – «кислотка») широко разливается, новообразованные минеральные фазы формируют уступы и барьеры с неглубокими водными ваннами, которые террасами спускаются по склону (рис. 3). Минеральные отложения зональны: в нижней покрытой водой части разреза на грунт (почву и растительные остатки) отлагается ярозит –  $\text{KFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$



Рис. 2. Самоизлив шахты «Белый Спой».

(тригональная сингония) в виде илоподобной желтоватой массы мощностью до 50 см; сверху, выступая над поверхностью воды, образуются темно-бурые пористые легкие коры рентгеноаморфных гидроксидов железа. Рентгенограмма ярозита с «Белого Споя» идеально подходит таковой эталонного ярозита из картотеки JCPDS, карта 22-827. Основные линии на рентгенограмме: 5.092 (5.09), 3.107 (3.11), 3.078 (3.08), 2.864 (2.861), 2.288 (2.287) А (в скобках указано для эталона).



Рис. 3. Морфология отложений из вод самоизлива шахты «Белый Спой».



Рис. 4. Самоизлив шахты «Им. Калинина».

*Самоизлив из штолен шахты «Им. Калинина».* В течение нескольких десятков лет происходит самопроизвольный излив воды из штольни старой шахты «Им. Калинина» в р. Косьву. В период эксплуатации шахт, расположенных почти на 15 км к северу, с которыми шахта «Им. Калинина» сбита горными выработками, самоизлив имел небольшой расход (около  $15 \text{ м}^3/\text{час}$  в летнюю межень) и минерализацию – 1.2–2 г/л. На работающих шахтах, самой крупной из которых была шахта «Центральная», производилась откачка шахтной воды и ее сброс в р. Губашка. В настоящее время вся разгрузка вод этой группы шахт осуществляется из штолен шахты «Им. Калинина» (рис. 4). Расход самоизлива увеличился до  $380 \text{ м}^3/\text{час}$ . Шахтная вода изливается не из одной штольни, как было ранее, а еще из двух, расположенных выше по склону. Минерализация шахтной воды составляет около 20 г/л, содержание  $\text{Fe}^{2+}$  превышает 4000 мг/л (табл.).

В местах выхода шахтной воды на поверхность отлагаются стратифицированные осадки ярозита и гидроксидов железа, подобные таковым на самоизливе шахты «Белый Спой». Шахтные воды, изливающиеся из верхних штолен, подпружены насыпью железной дороги и образовали небольшой техногенный водоем, вытянутый вдоль насыпи. На галечном валу, выступающем из этого водоема, и на береговой щебеночной отсыпке горизонтальной полосой, трассирующей некогда более высокий уровень воды, на испарительном барьере кристаллизовались белые солевые нал-

ты эпсомита –  $MgSO_4 \times 7H_2O$ , ромбическая сингония. Главные линии на рентгенограмме: 5.343 (5.35), 4.212 (4.21), 2.880 (2.880), 2.674 (2.677), 2.657 (2.659) Å (в скобках указано для эталонного эпсомита, JCPDS, карта 8-467). На бумажном мусоре по берегам озера образуются агрегаты голубовато-зеленых кристаллов, по-видимому, мелантерита –  $FeSO_4 \times 7H_2O$ .

Техногенное минералообразование, подобное рассмотренным выше, происходит также на самоизливе группы шахт г. Гремячинска и некоторых др. К сожалению, эти объекты пока не изучены.

#### **Минералообразование в породных отвалах угольных шахт и углеобогащения**

Другой серьезной экологической проблемой Кизеловского угольного бассейна были и остаются горелые и не горелые породные отвалы угольных шахт и углеобогащения. В настоящее время в регионе имеется 53 отвала, которые занимают огромные площади. В них, как и в угленосной толще, широко развит сернокислотный процесс. Стоки отвалов, формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков, а иногда и за счет разгрузки подземных вод, перекрытых породами отвалов, имеют минерализацию до 50 г/л и более. Водородный показатель имеет значения 1–3; значительны концентрации сульфат-иона, железа, алюминия, тяжелых металлов (табл.). Процессы, развивающиеся в зоне техногенеза угольных месторождений, в общем виде близки таковым на колчеданных месторождениях [2, 16, 17]. Общая минерализация вод отвала обогащения угля Губахинского коксохимического завода близка минерализации вод колчеданного месторождения Блява [2]. Стоки отвалов вблизи них могут образовывать лужи и даже небольшие водоемы. Большая их часть попадает в реки Кизеловского бассейна и подземные воды.

Современные минеральные новообразования, в том числе и многочисленные сульфаты, в отвалах Челябинского угольного бассейна детально описаны Б. В. Чесноковым и Е. П. Щербаковой [13], а в отвалах Кизеловского бассейна – Н. Г. Максимовичем и др. [5, 6]. Поэтому остановимся только на одной экзотической находке на отвале шахты «Им. 40 лет Октября». Здесь с северо-западной подработанной бульдозером стороны отвала обнаружена крупная глыба красного горельника, под карнизом которой на площади более 1 м<sup>2</sup> отложились обильные белоснежные слегка влажные почковатые минеральные образования (рис. 5). Следует заметить, что горение отвала было не столь активным. Во всяком случае, на плакоре отвала не обнаружено ни признаков горения, ни

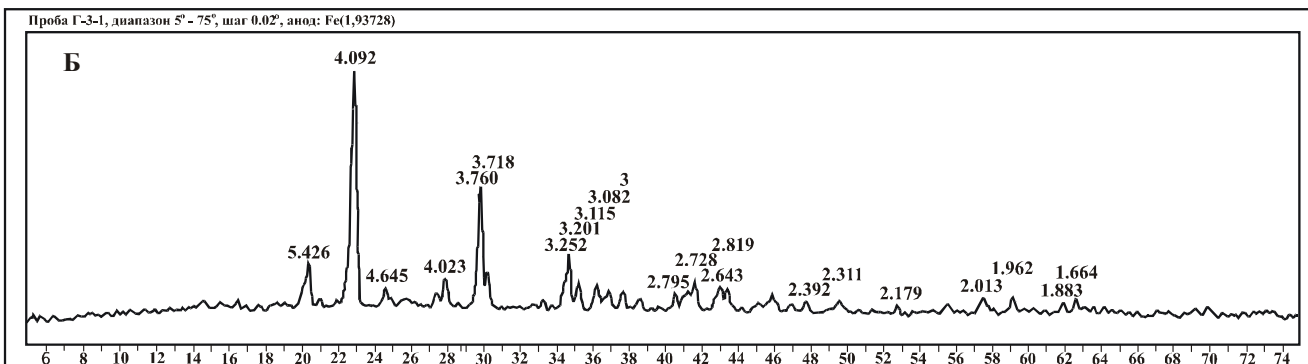
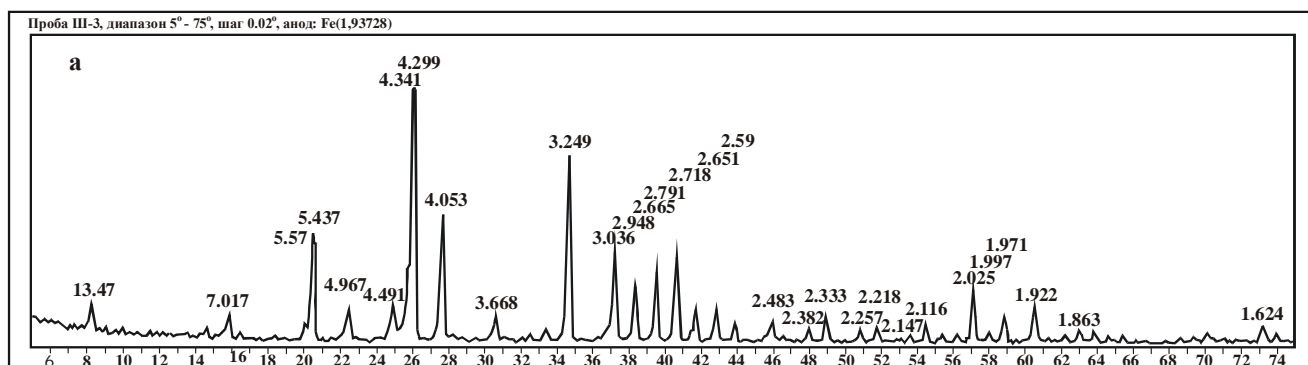




Рис. 5. Белые выделения калиевых квасцов на глыбе красного горельника угольного отвала шахты «Им. 40 лет Октября».

каких бы то ни было фумарольных образований: ни битуминозной коры, ни отложений серы, ни сульфатных кор. Тем не менее, на южной сильно подработанной стороне видно классическое строение горелого отвала с зонами красного горельника и непрогорелыми черными блоками. Не вызывало сомнений, что белые минеральные образования являются сульфатами. Действительно, рентгенограмма отобранного белого вещества соответствует калиевым квасцам –  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$ , кубическая сингония (рис. 6а). В природе калиевые квасцы встречаются в виде налетов и выполнений трещинок в аргиллитовых породах и бурых углях, содержащих вкрапленность пирита и марказита. Минерал в этих условиях возникает при воздействии на богатые щелочами алюмосиликаты серной кислоты, образовавшейся при выветривании сульфидов. Встречается также в фумаролах и сольфатарах как продукт вулканической деятельности, например, на Везувии. Несмотря на довольно экзотический генезис, в мире калиевые квасцы встречаются довольно широко и в разных обстановках и месторождениях [1]. В техногенных условиях обнаружен в горелых угольных отвалах Кладно (Чехия) и упомянут Б. В. Чесноковым как ограниченно распространенный минерал в фумаролах Челябинского угольного бассейна [14]. В отвалах Кизеловского

Рис. 6. Дифрактограмма калиевых квасцов (а) и мелантерита (б). ДРОН-2.0,  $FeK_{\alpha}$ -излучение.



угольного бассейна калиевые квасцы являются первой находкой. Причем, в отличие от находок их в Челябинском угольном бассейне, калиевые квасцы на отвале шахты «Им. 40 лет Октября» не являются фумарольными образованиями. Генезис калиевых квасцов здесь связан с дренированием сернокислых вод сквозь глыбу обожженного и спекшегося аргиллитового материала (так называемого красного горельника), с разложением богатой щелочами алюмосиликатной матрицы и взаимодействием продуктов разложения с серной кислотой.

*Отвалы углеобогащения Губахинского коксохимического завода.* Интенсивное образование сульфатов происходит близ водоемов подотвальных вод (рис. 7) и временных водотоков (ручьев) (рис. 8) на отвалах Губахинского коксохимического завода. В русле полувысохших ручьев и на самой прибрежной кромке водоемов на влажном грунте из кусков отвальной породы, мелкого угля и глины кристаллизуются обособленные довольно



крупные до 3–4 см агрегаты нежного голубовато-зеленого цвета, состоящие преимущественно из мелантерита –  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , моноклинная сингония (рис. 9). Дифрактограмма его (см. рис. 6б) идеально соответствует эталонному мелантериту карты 22-633 картотеки рентгеновских данных минералов JCPDS. При частичной дегидратации при высыхании временных водотоков в

Рис. 7. Техногенный водоем у основания отвала обогащения угля Губахинского коксохимического завода. По берегам водоема видна светлая полоса сульфатных отложений, главным образом – кокимбита.



Рис. 8. Ручей, вытекающий из-под отвала, с отложениями мелантерита и ссомольнокита.

сухую жаркую погоду отложившийся мелантерит трансформируется в ссомольнокит –  $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$  (моноклинная сингония), основные линии которого на рентгенограмме следующие: 4.867 (4.85), 3.446 (3.44), 3.108 (3.12), 2.528 (2.521), 2.430 (2.432) Å (в скобках указано для эталонного ссомольнокита, JCPDS, карта 21-925).



Рис. 9. Крупные агрегаты мелантерита (снизу от геологического молотка) в русле ручья.



Сульфатная минерализация эфемерна, недолговечна, трансформируема. Чередование сухих и дождливых периодов приводит к тому, что ассоциация мелантерит-ссомольнокит является на угольных отвалах самой обычной и распространенной. Но не единственной. Близ небольшой выемки, вскрывшей отвальные воды, чуть подалее зоны кристаллизации мелантерита на более сухом месте обнаружены желтые почковатые выделения, цементирующие мелкие кусочки угля. Основной минеральной фазой этих образований является кокимбит –  $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$  (тригональная сингония), главные линии которого на дифрактограмме в сравнении с отражениями эталонного кокимбита из картотеки JCPDS, карта 6-0040, следующие: 9.433 (9.44), 8.299 (8.26), 5.467 (5.45), 4.601 (4.60), 3.637 (3.64) Å. А в русле высохшего ручья, вытекающего из-под отвала, установлены обильные белые почковатые выделения еще одного сульфатного минерала галотрихита –  $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \times 22\text{H}_2\text{O}$ , моноклинная сингония (рис. 10). Интенсивные линии галотрихита на рентгенограмме следующие: 6.048 (6.02), 4.804 (4.77), 4.304 (4.29), 3.955 (3.95), 3.774 (3.75), 3.498 (3.48) Å (в скобках указаны линии эталонного галотрихита, JCPDS, 11-506).



Рис. 11. Почковатые выделения галотрихита в русле высохшего ручья.

Здесь же на отвале обогащения угля обнаружены многочисленные куски тонкодисперсного пирита. С поверхности образцы покрыты тонкой белой порошковатой массой продуктов окисления пирита. Рентгенограмма этого налета соответствует мелантериту и ссомольнокиту – основной парагенетической ассоциации новообразованных или водно-переотложенных сульфатов в пределах отвала. Образцы пирита с белыми налетами минеральных новообразований отобраны нами также и с угольных отвалов шахты «Им. 40-летия Октября». Здесь продуктом окисления пирита является мелантерит.

Как отмечают А. П. Седова и Е. П. Щербакова [10], изучавшие продукты окисления колчеданных руд в лабораторных условиях, процессы изменения начинаются с разложения пирита под действием воды и кислорода и образования свободной серной кислоты. В продуктах окисления пирита ими установлены ссомольнокит –  $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ , ремерит –  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{SO}_4)_4 \times 14\text{H}_2\text{O}$  и ромбоклаз –  $\text{HFe}^{3+}(\text{SO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ . Авторы отмечают, что относительно «сухие» лабораторные условия «способствуют созданию чрезвычайно агрессивной обстановки с очень низким рН и высоким Eh и образованию сульфатов с низким содержанием воды, сульфатов трехвалентного железа и, наконец, кислых сульфатов». Этим, видимо, и объясняется, что в отличие от условий открытого отвала с повышенной атмосферной влажностью, в лабораторных условиях образование мелантерита как продукта окисления пирита установлено не было. Это не исключает того, что окисление пирита происходит через образование мелантеритовой фазы. Скорее всего, на момент проведения исследований мелантерит в лабораторных образцах уже трансформировался в ссомольнокит.

### **Заключение**

Таким образом, в различных обстановках современного техногенного минералообразования в пределах Кизеловского угольного бассейна установлены следующие сульфатные фазы: ярозит –  $\text{KFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , эпсомит –  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , мелантерит –  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , ссомольнокит –  $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ , кокимбит –  $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$ , галотрихит –  $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \times 22\text{H}_2\text{O}$ , калиевые квасцы –  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$ . С учетом опыта оценки экологической ситуации на основе минералогического подхода, разработанного Г. Г. Кораблевым [3], можно довольно условно выстроить исследуемые объекты в ряд по мере увеличения экологического прессинга и интенсивности техногенных процессов только по сульфатной компоненте от областей

воздействия шахтных самоизливов через зоны влияния горелых угольных отвалов к отвалам углеобогащения Губахинского коксохимического завода. При этом не следует забывать, что экологический прессинг в районах отвалов ограничен локальными участками. Тогда как основным региональным загрязнителем являются кислые шахтные самоизливы, влияние которых распространяется с водными потоками на значительные территории и на порядок превосходит загрязнение от отвалов по количеству выносимых загрязнителей, главным образом, гидроксидов железа.

Авторы благодарны Т. М. Рябухиной за съемку и Н. В. Паршиной за расшифровку рентгенограмм, Н. П. Воложаниновой за проведение химического анализа воды, а также участникам полевых работ инженеру А. В. Денисову, аспирантке Е. А. Ларионовой, студентам О. С. Исуповой, Е. В. Лизуновой, Е. А. Федосовой, школьнику И. Неклюдову, без плодотворной помощи которых в организации быта и настроения экспедиции, она не была бы столь успешной.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 02-05-96414 «Эколого-геохимическое изучение постликвидационных процессов в Кизеловском угольном бассейне».

#### Литература

1. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Т. II, полутом 1 / Под ред. Д. П. Григорьева. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1953. 774 с.
2. Емлин Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. 256 с.
3. Кораблев Г. Г. Минералогические критерии оценки загрязнения окружающей среды в горнорудных районах Южного Урала // Минералогия техногенеза—2001 / Под ред. С. С. Потапова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. С. 240–241.
4. Крамаренко Л. Е. Геохимическое и поисковое значение микроорганизмов подземных вод. Л.: Недра, 1983. 181 с.
5. Максимович Н. Г., Кропачев А. М., Шлыков В. Г., Кулаткина А. Ю. Минералообразование в отвалах угольных шахт Кизеловского бассейна // Минералогия месторождений Урала: Тез. докл. регион. совещ. Свердловск, 1990. Т. 2. С. 188–189.
6. Максимович Н. Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. ун-та. Пермь, 1997. Вып. 4. Геология. С. 171–185.
7. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов / В. Р. Клер, Г. А. Волкова, Е. М. Гурвич и др. М.: Наука, 1987. 240 с.

8. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / В. Р. Клер, В. Ф. Ненахова, Ф. Я. Сапрыкин и др. М.: Наука, 1988. 256 с.
9. *Перельман А. И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
10. *Седова А. П., Щербакова Е. П.* Продукты изменения биоморфных руд месторождения Яман-Касы (Южный Урал) при хранении в лабораторных условиях // Металлогения древних и современных океанов-99. Рудоносность гидротермальных систем / Под. ред. В. В. Зайкова. Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. С. 231–235.
11. *Смирнов С. С.* Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 335 с.
12. Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2001 году. Государственный доклад. Пермь, 2002. 190 с.
13. *Чесноков Б. В., Щербакова Е. П.* Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.
14. *Чесноков Б. В.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (Сообщение десятое – обзор результатов за 1982–1996 гг.) // Уральский минералогический сборник № 7. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 5–32.
15. *Чухров Ф. В., Ляликова Н. Н., Горшков А. И.* О роли микроорганизмов в образовании ярозитов // Докл. АН СССР, 1978. Т. 241. № 4. С. 929–932.
16. *Щербакова Е. П.* Современное минералообразование в техногенных водоемах сульфатного типа (Южный Урал) // Минералогия техногенеза-2000 / Под. ред. С. С. Потапова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 169–171.
17. *Щербакова Е. П., Звонарева Г. К., Кораблев Г. Г.* Медь и цинк в мелантеритах Южного Урала // Уральская минералогическая школа-2002. Под знаком меди. Екатеринбург: УГГГА, 2002 / [http://www.usmga.ru/min\\_school/2002/tes2002/Scherbakova.htm](http://www.usmga.ru/min_school/2002/tes2002/Scherbakova.htm)