

УДК 550.461+550.424+549+502.51+ 553.94(571.63)

И.А. Тарасенко, А.В. Зиньков

ТАРАСЕНКО ИРИНА АНДРЕЕВНА – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток).

E-mail: tarasenko_irina@mail.ru

ЗИНЬКОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ – кандидат геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОЛИТОСФЕРЫ В РАЙОНАХ ЛИКВИДИРОВАННЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Систематизированы данные по природно-техногенным преобразованиям гидrolитосферы в районах ликвидированных угольных шахт. Установлено, что в природно-техногенных структурах, сформировавшихся в результате затопления угольных шахт, направление эволюции химического состава подземных вод связано с ростом их минерализации. Процессы массообмена веществ между твердыми и жидкими фазами сопровождаются изменением концентраций растворенных веществ и состава подземных вод, продуцируя строго определенный геохимический тип воды и вторичный минеральный продукт.

Ключевые слова: подземные воды, ликвидированные шахты, геохимия, условия формирования, равновесие.

Natural and man-caused transformations hydro-lithosphere in areas of the liquidated coal mines. Irina A.Tarasenko, Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok. Alexander V. Zinkov, School of Engineering, Far Eastern Federal University, Vladivostok.

The data on natural and man-caused to transformations hydro-lithosphere in areas of the liquidated collieries are systematized. It is established, that in Natural and man-caused the structures generated as a result of flooding of collieries, the direction of evolution of a chemical compound of underground waters occurs to growth of their mineralization. Processes mass exchange substances between firm and liquid phases are accompanied by change of concentration of the dissolved substances and structure of underground waters, producing strictly certain geochemical type of water and a secondary mineral product.

Key words: the underground waters, the liquidated coal mines, geochemistry, conditions of formation, balance.

Промышленная добыча угля определила изменение условий природной гидрогеологической структуры осадочных бассейнов и привела к нарушению естественного режима подземных вод. Над выработанным пространством образовались водопроводящие трещины, пересекающие относительные водоупоры и гидравлически связывающие водоносные пласты с выработанным пространством.

При ликвидации угольных шахт методом самозатопления, восстановление уровня подземных вод во времени происходило по экспоненциальной зависимости; средняя скорость восстановления уровня колебалась от нескольких сантиметров до нескольких метров в месяц; на верхних горизонтах шахт скорость затопления снижалась [3]. Коэффициент заполнения водой объема сдренированного пространства колебался (по данным динамики затопления) от 0,96 до 1,0, в зависимости от литологического состава вмещающих пород, степени их катагенетического преобразования, углов падения, количества и мощности (влияющей на высоту зоны обрушения) разрабатываемых угольных пластов, глубины разработки и способа управления кровлей. Время затопления шахт варьировало от 2 до 7,3 лет.

В результате в районах ликвидации трансформировались физико-механические и фильтрационные свойства пород за счет их обводнения. В водонасыщенном состоянии предел прочности на сжатие у песчаников снизился на 18–24%, алевролитов – на 37%, а у аргиллитов при сильном увлажнении наблюдалось пучение, ухудшилась консистенция глинистых пород. Подземные водоносные горизонты не восстановились в прежних параметрах и координатах, а сформировались иные, техногенные, со значительными отклонениями в скоростном, напорном, фильтрационном и уровневом аспектах. В природно-техногенных структурах образовался техногенный водоносный комплекс [2].

В результате систематизации данных по природно-техногенным преобразованиям гидролитосферы проведена оценка гидролитогенетических трансформаций; осуществлены работы по выявлению факторов и закономерностей стадийной эволюции гидролитогенных систем; установлен состав современных минеральных новообразований, равновесных с подземными водами; определена роль вторичного минералообразования в формировании химического состава воды.

Изучение фактического материала выявило чрезвычайно широкий спектр химического состава вод, формирующихся в районах ликвидированных угольных шахт, изменчивость этого признака по угольным бассейнам, в пределах площади отдельного бассейна и даже в границах шахтного поля [1, 2, 4, 5]. Это особенно отчетливо видно на примере некоторых угольных месторождений Приморья, включающих шесть ликвидированных угольных шахт (рис. 1).

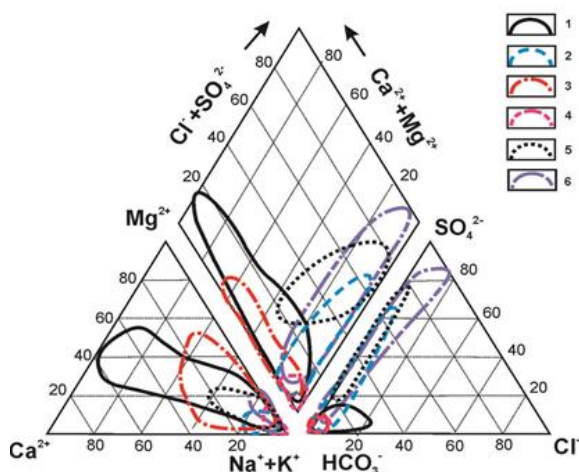


Рис. 1. Соотношение основных катионов и анионов в подземных водах техногенного комплекса шахт Партизанского каменноугольного бассейна и Подгородненского месторождения: 1 – Глубокая; 2 – Нагорная; 3 – Авангард; 4 – Северная; 5 – Углекаменская; 6 – Подгородненская

Установлено, что в результате затопления горных выработок подземные воды изменяют свой состав. Рост минерализации происходит главным образом за счет повышения концентраций ионов натрия или магния (в Раздольненском бассейне [3]), гидрокарбонатов и сульфатов (рис. 2). Эволюционные преобразования геохимических типов подземных вод ха-

рактируются переходом от $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ к $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ($\text{HCO}_3\text{-Mg}$) и к $\text{SO}_4\text{-Na}$ ($\text{SO}_4\text{-Mg}$) составам. Для каждого химического типа вод свойственны определенные величины общей минерализации. Наименьшие пределы минерализации присущи гидрокарбонатным водам, отражающим начальные фазы их метаморфизации, наибольшие – сульфатным, сформировавшимся в результате процессов наиболее глубокой метаморфизации.

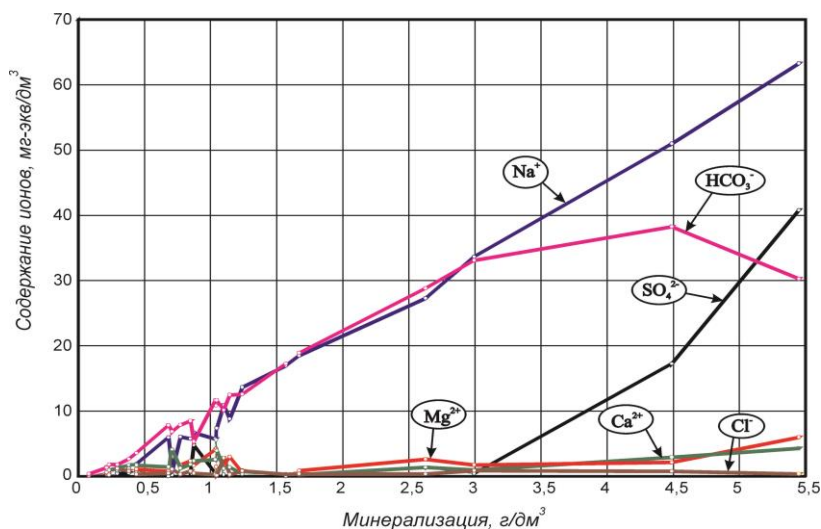


Рис. 2. Зависимость средних содержаний ведущих элементов в подземных водах Партизанского каменноугольного бассейна и Подгородненского месторождения от их общей минерализации

Выполненные для средних обобщенных составов вод природных и техногенных комплексов Южного Приморья физико-химические расчеты электролитической диссоциации (комплексообразования) позволили осуществить оценку форм переноса химических элементов и их изменение при трансформации состава природных вод в техногенно-нарушенных горных массивах. В результате установлено, что комплексные соединения образуются уже в маломинерализованных подземных водах, но их роль в миграции компонентов весьма невелика. Миграция макрокомпонентов в природных подземных водах осуществляется преимущественно в виде собственных незакомплексованных ионов, доля которых для Na^+ составляет 99,73–99,82%; Mg^{+2} – 96,44–97,17%; Ca^{+2} – 95,06–96,36%. Отчетливо наблюдается рост доли комплексных соединений в водах, формирующихся в природно-техногенных структурах. Особенно хорошо это проявлено на примере кальция, магния и цинка. В этих водах они представлены, наряду с незакомплексованными ионами, гидрокарбонатными, карбонатными и сульфатными комплексами, доля которых в водах техногенных комплексов значительно существенней, чем в водах природных комплексов.

Формы миграции микрокомпонентов более разнообразны. Преобладание миграции в виде собственных ионов присуще главным образом железу, марганцу, кадмию, фтору и цинку. Причем по этим элементам также наблюдается увеличение доли комплексных соединений с ростом минерализации. Комплексные соединения представлены преимущественно сульфатными (FeSO_4 , MnSO_4 , CdSO_4 , ZnSO_4), гидрокарбонатными (FeHCO_3^+ , MnHCO_3^+ , PbHCO_3^+ , ZnHCO_3^+) и карбонатными (CdCO_3 , PbCO_3 , ZnCO_3) комплексами. Мышьяк, который присутствует в повышенных количествах в породах Партизанского бассейна, формирует такие комплексные соединения, как H_3AsO_3 , HAsO_4^{-2} и H_2AsO_4^- . Для вод Партизанского и Угловского бассейнов характерно увеличение доли HAsO_4^{-2} и, соответственно, уменьшение доли H_2AsO_4^- с ростом минерализации. Ртуть (II), зафиксированная в незначительных количествах в подземных водах бассейнов, находится главным образом в виде $\text{Hg}(\text{OH})_2$, HgClOH и $\text{Hg}(\text{NH}_3)_2^{+2}$.

Неотъемлемой частью формирования химического состава подземных вод является вторичное гидрогенное минералообразование. Именно вторичные минералы контролируют содержания химических элементов в водах. Расчет равновесного химического состава шахтных вод с помощью программы AquaChem 5.1 [6] позволил определить влияние концентрации ионов H^+ , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ и Mg^{2+} , а также содержания H_4SiO_4 (т.е. тех элементов, которые входят в состав основных породообразующих минералов) на направление преобразования минерального вещества. В результате установлено, что подземные воды ликвидированных угольных

шахт неравновесны с первичными алюмосиликатными минералами и равновесны со многими вторичными гидроксидными, силикатными, карбонатными и сульфатными минералами (рис. 3). На диаграммах наблюдается четкая смена состава подземных вод при движении их в природно-техногенных структурах и изменение состава вторичной минеральной фазы.

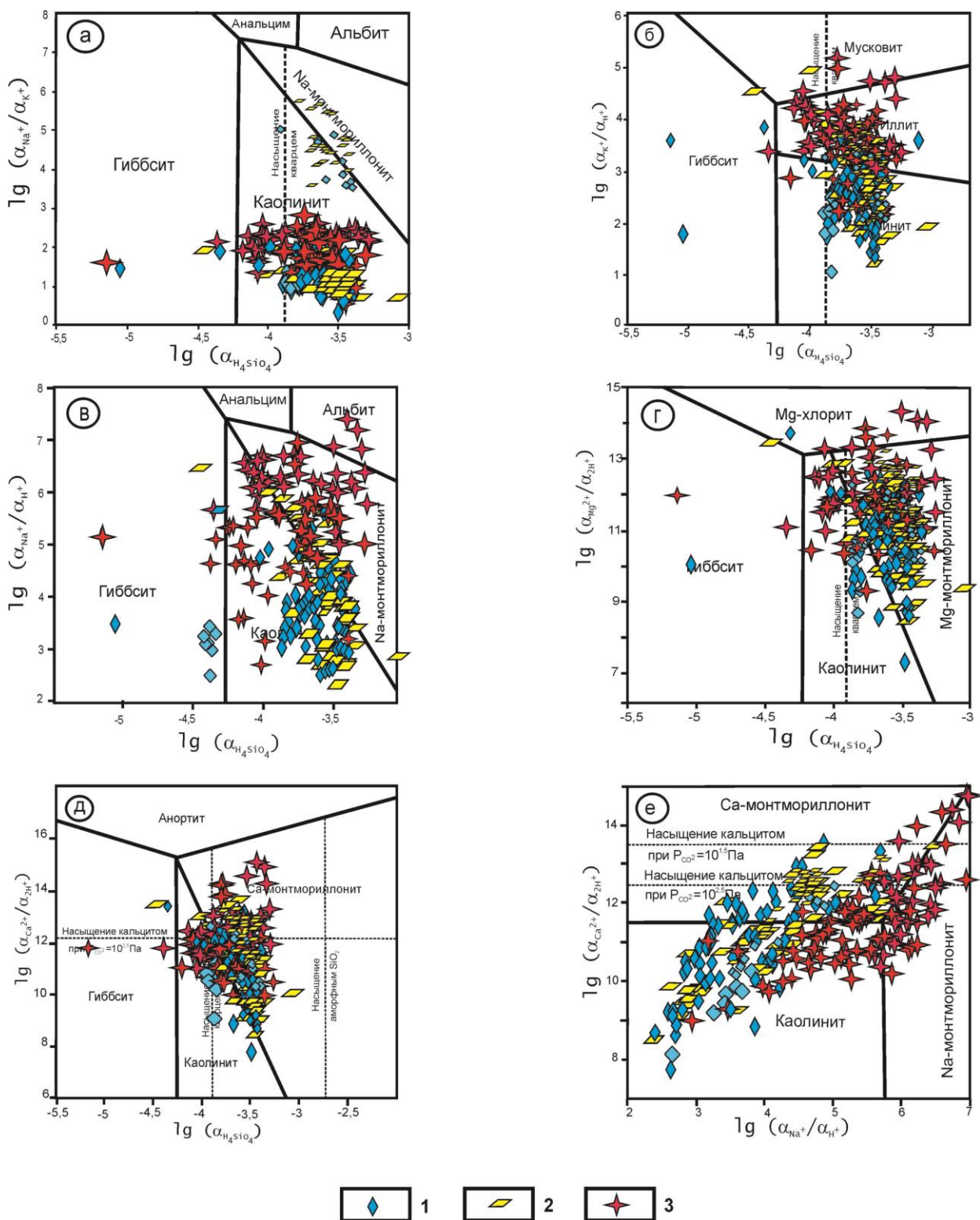


Рис. 3. Диаграммы равновесия основных минералов с нанесением данных по составу подземных вод районов ликвидированных шахт Приморского края: (1 – аллювиального горизонта четвертичных отложений; 2 – трещинного и трещинно-жильного водоносных комплексов; 3 – техногенного водоносного комплекса): а – система $H_2O-Al_2O_3-Na_2O-CO_2-SiO_2$; б – система $H_2O-K_2O-CO_2-SiO_2-Al_2O_3$; в – система $H_2O-Na_2O-CO_2-SiO_2-Al_2O_3$; г – система $H_2O-MgO-CO_2-SiO_2-Al_2O_3$; д – система $H_2O-CaO-CO_2-SiO_2-Al_2O_3$; е – система $H_2O-Al_2O_3-CaO-Na_2O-CO_2-SiO_2$

Установившиеся уровни подземных вод техногенного комплекса соответствуют уровню подземных вод в естественных ненарушенных условиях и часто располагаются на 20–30 м выше уровня рек, в результате при полном затоплении шахт на склонах или в поймах речных долин происходит разгрузка вод техногенного комплекса. Все изливы шахтных вод на земную поверхность сопровождаются образованием значительного количества осадков, которые представляют собой природно-техногенные современные гидрогенные минеральные новообразования осадочного типа.

Минералы равновесной вторичной фазы выводят из подземных вод элементы, лимитируя уровень их накопления в водах. Тем самым обеспечивается физико-химическая эволюция данной системы, которая включает направленное изменение характера геохимической среды, состава водного раствора и новых минеральных парагенезисов.

Вторичные образования представляют собой полиминеральные смеси, в которых доминирует кальцит. На уровне первых процентов встречаются арагонит, доломит (рис. 4) и сидерит (рис. 5). В ассоциации с ними находятся тенардит (рис. 6), несквегонит и астраханит. Наиболее широко распространены вторичные алюмосиликатные, глинистые минералы, представленные каолинитом, монтмориллонитом и гидрослюдами (рис. 7).

Оксидно-гидроксидные осадки морфологически представляют собой высокодисперсные охристые образования, основная масса которых представлена ферригидритом, гетитом и лепидокрокитом.

Таким образом, термодинамические расчеты позволили зафиксировать минеральную равновесность системы в подземном пространстве, а натурные исследования вторичных минералообразований подтвердили достоверность гидрогеохимических расчетов и наличие того или иного вторичного гидрогенного минералообразования.

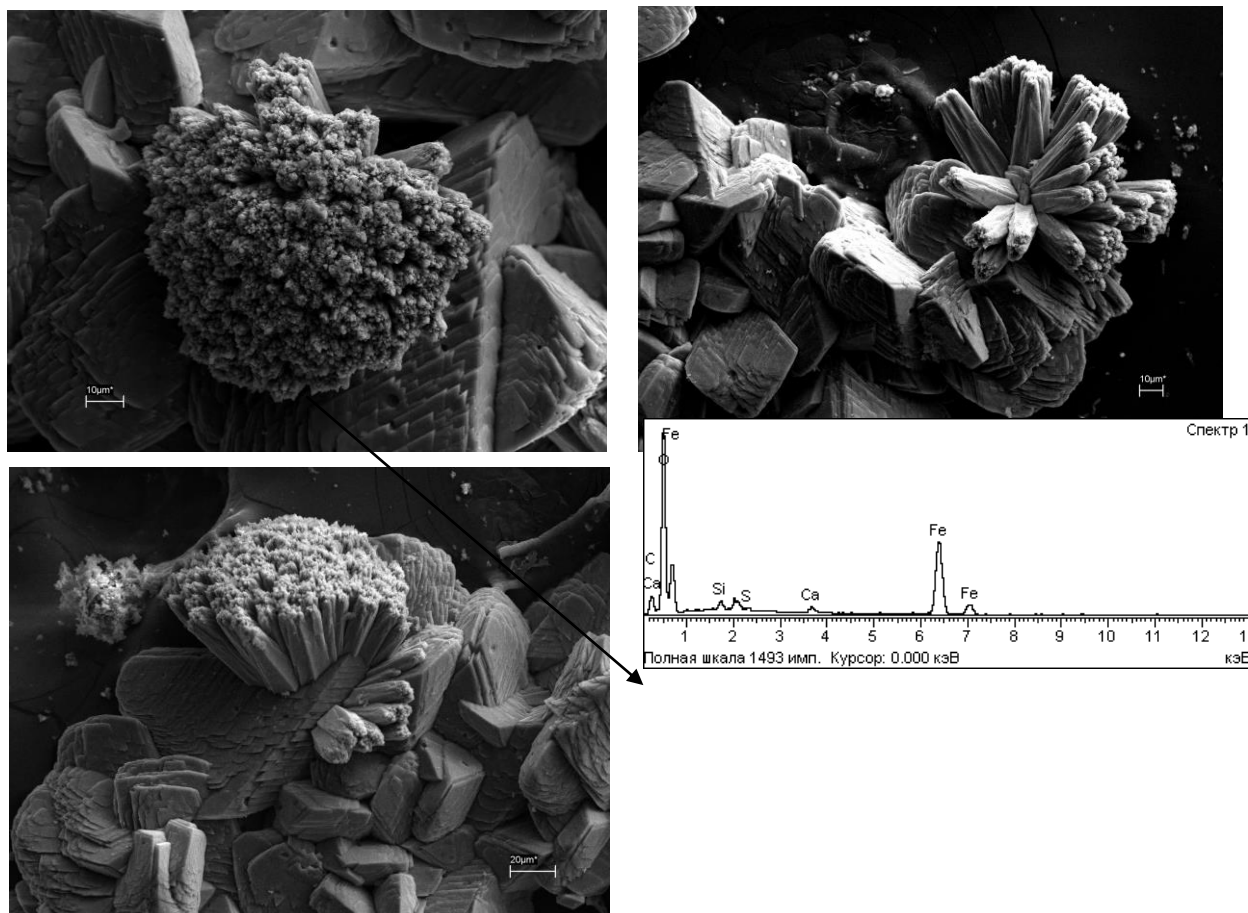


Рис. 4. Рост сноповидных кристаллов арагонита на доломите (здесь и далее исследования выполнены в ДВГИ ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе ZEISS EVO 50XVP, оснащённом рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром INCA Energy 350)

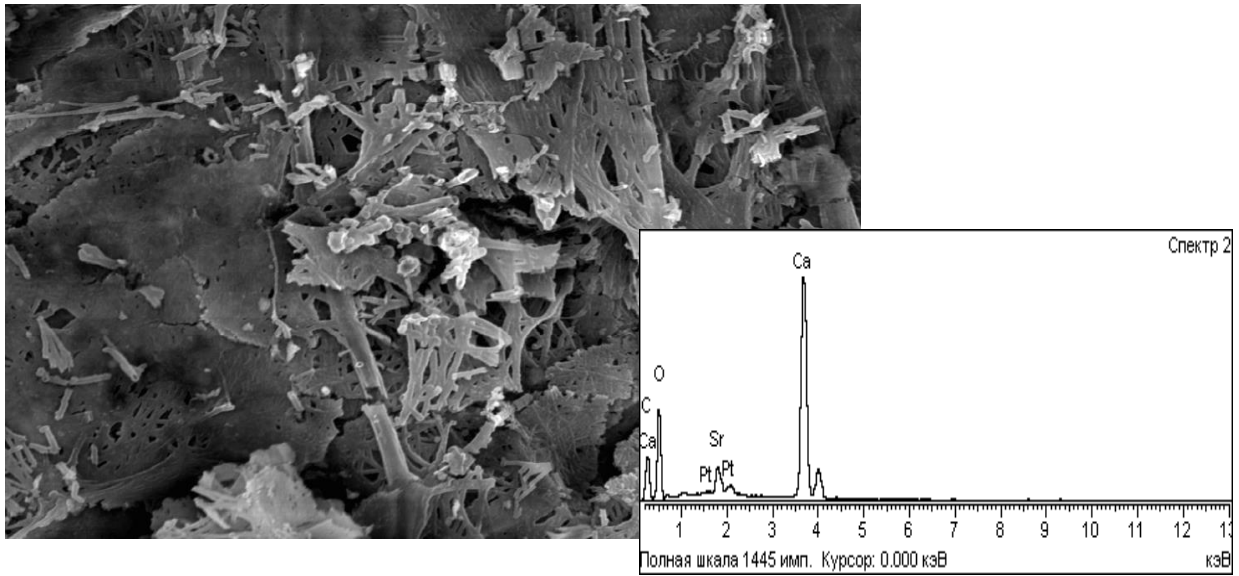


Рис. 5. Морфология сидерита

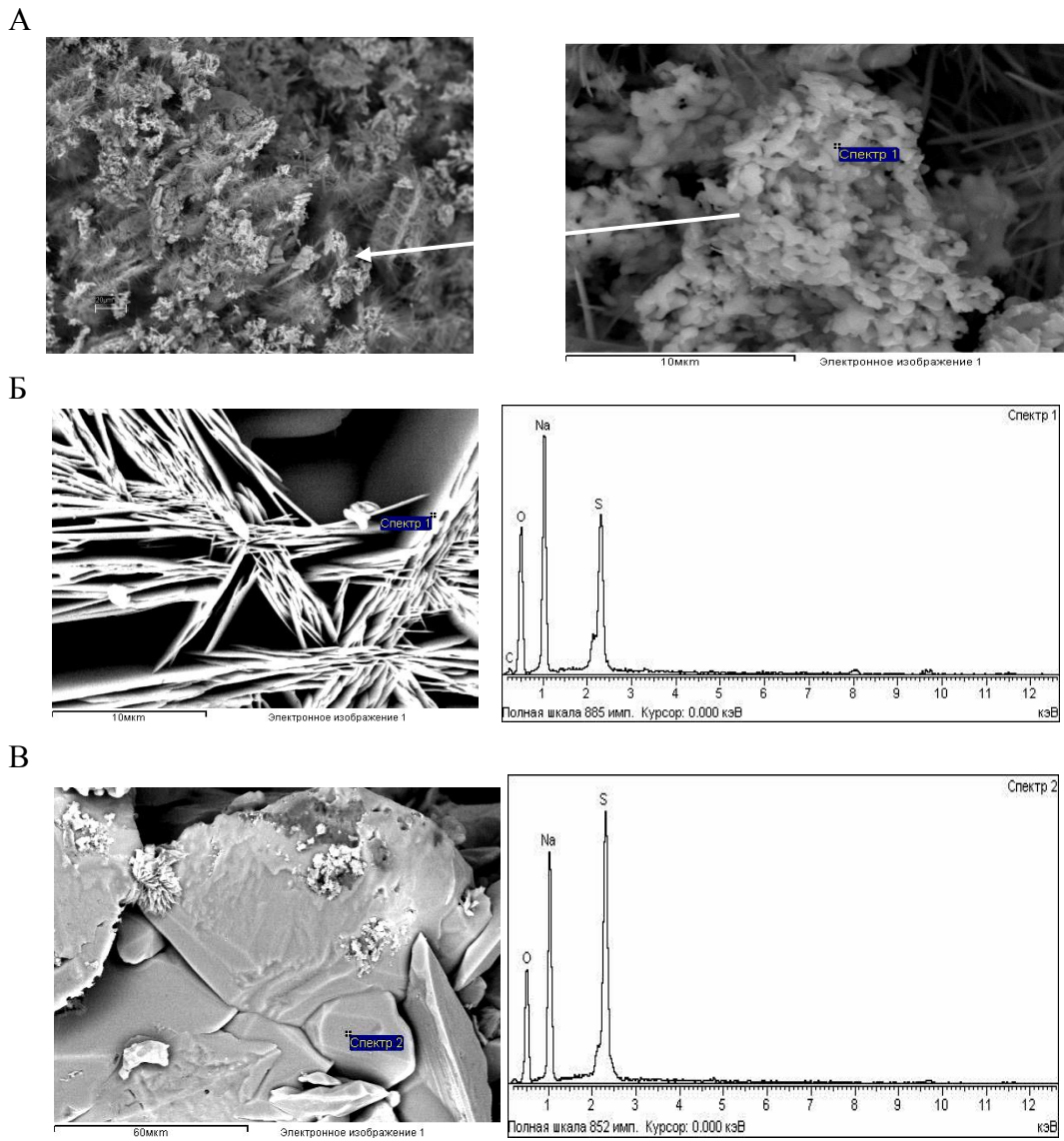


Рис. 6. Морфология тенардита: А – шх. Подгородненская; Б, В – шх. Углекаменская

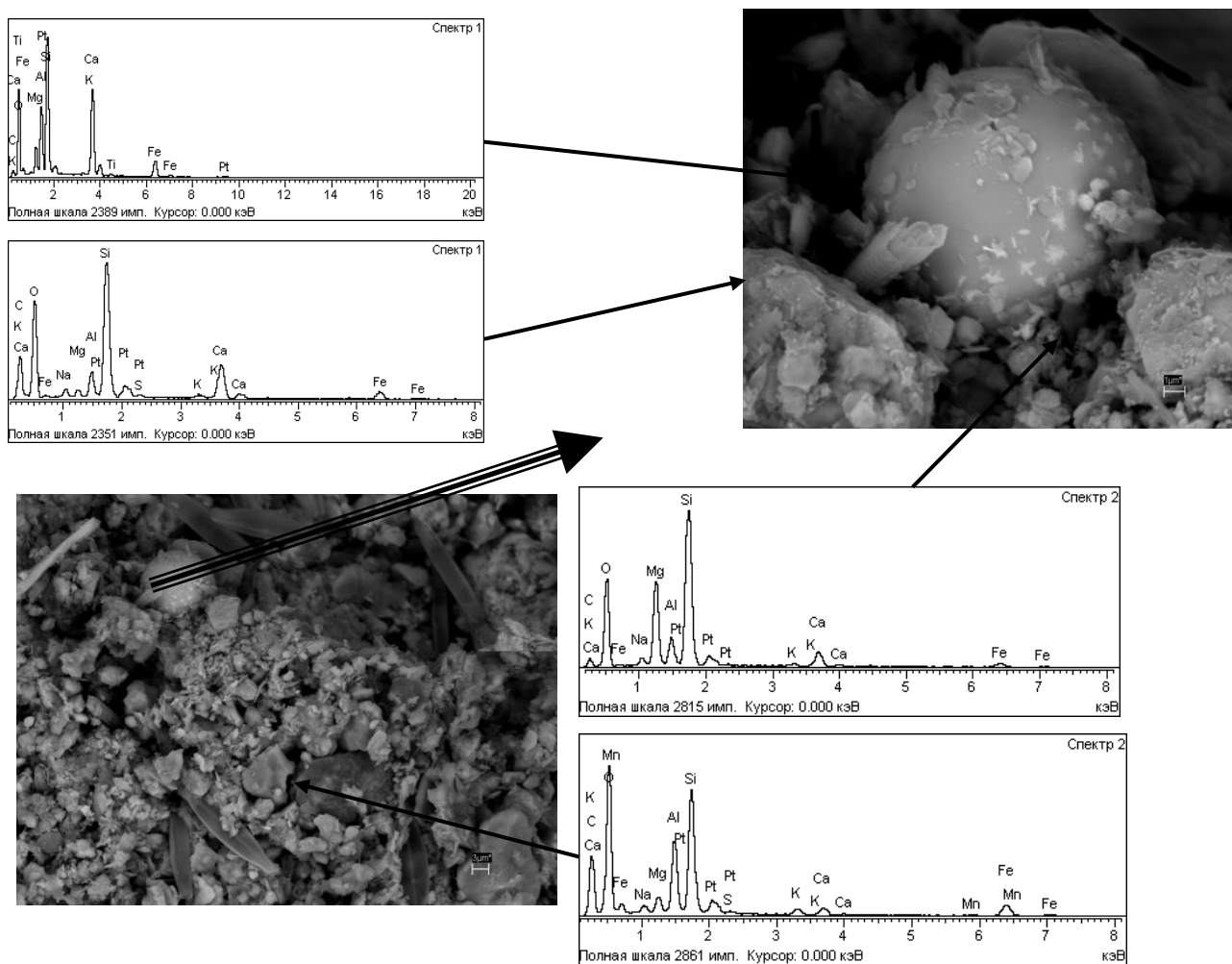


Рис. 7. Морфология силикатных минералообразований

Выполненные исследования позволили установить следующее.

- В природно-техногенных структурах, сформировавшихся в результате затопления угольных шахт, направление эволюции химического состава подземных вод, происходит с ростом их минерализации. Состояние неравновесности в водах угольных бассейнов поддерживают физико-химические особенности таких элементов и соединений, как HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} .
- Процессы массообмена веществ между различными фазами в подземной гидросфере сопровождаются изменением концентраций растворенных веществ и состава подземных вод.
- В силу неравновесного состояния воды с первичными горными породами продуцируется строго определенный комплекс вторичных твердых и жидких образований.
- Геохимический тип воды и вторичный минеральный продукт являются результатом эволюционного развития системы вода–порода в природно-техногенной структуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасенко И.А. Гидрогеохимические особенности подземных вод ликвидированной шахты «Мгачи» в Сахалинской области и оценка их экологического влияния на поверхностные водотоки // Геориск. 2011. № 2. С. 48–56.

2. Тарасенко И.А. О состоянии окружающей природной среды в районах ликвидированных угольных шахт (на примере Партизанского района Приморского края) // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 3. С. 113–118.
3. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Особенности современного химического состава подземных вод угленосных районов о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 4. С. 100–110.
4. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Оценка техногенного загрязнения подземного водного бассейна в районе ликвидированной шахты (Липовецкое каменноугольное месторождение, Приморский край) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 2. С. 106–115.
5. Тарасенко И.А., Зиньков А.В., Оводова Е.В. Инженерно-экологические изыскания при оценке последствий ликвидации шахт в Раздольненском каменноугольном бассейне Приморского края // Инженерные изыскания. 2013. № 3. С. 28–37.
6. AquaChem. User's Manual. Water Quality Data Analysis, Plotting and Modeling / Waterloo Hydrogeol., Inc. Canada, 2006. V. 5.1. 365 p.