

УДК 553.947[552.574+550.42](477)

СОЛЕННЫЕ УГЛИ УКРАИНЫ

© 2004 г. А. В. Иванова

*Институт геологических наук
Национальной академии наук Украины*

01054 Киев, ул. О. Гончара, 55б

Поступила в редакцию 11.02.2002 г.

Привлечены новые материалы для обоснования ранее выдвинутой автором концепции о засолении углей на стадии развития торфяников. Выявлено более широкое, чем предполагалось ранее, распространение соленых углей в пределах угленосных и нефтегазоносных бассейнов. Отмечено, что уровень обогащения органического вещества углей связан с палеогеографическими условиями формирования торфяников, способствующими проникновению в них морских вод (в условиях паралических бассейнов) или обогащенных хлористым натрием растворов (из размывающихся галогенных образований). Начальный уровень засоления не остается постоянным, так как тесно связан с наложенными процессами, ведущими к обессоливанью углей. Процесс обессоливания контролируется степенью углефикации и реализуется при благоприятных тектонических и гидрогеологических условиях. Приведен обзор современного состояния исследований по разработке методов освоения соленых углей, которые должны отвечать требованиям экономичности, комплексности использования сырья и охраны окружающей среды.

Среди так называемого низкосортного топлива наиболее перспективными по качеству и запасам являются соленые угли. По основным качественным показателям они являются ценным энергетическим сырьем. Однако использование этих углей связано с большими трудностями, так как повышенное содержание натрия и хлора приводит при их сжигании к зашлаковыванию и коррозии поверхностей нагрева котлоагрегатов. По принятым критериям солености, обзор и анализ которых приведен автором [Иванова, Кривега, 1985], к соленым относят угли, содержащие более 0.5% Na₂O на сухую массу или более 2% на золу. В соответствии с более поздними исследованиями [Клер и др., 1988] к соленым относятся угли с соотношением K⁺/Na⁺ меньше 1 независимо от их абсолютного содержания (справедливо для углей с зольностью до 25%).

Месторождения соленых углей известны во многих странах мира – Австрии, Великобритании, Германии, Польше, Чехии, России, США, Австралии и др. В Украине, по данным М.П. Зборщика с соавторами [1998], их разведанные запасы составляют более 25 млрд т. Они сосредоточены главным образом в пределах Западного, в меньшей мере Северного Донбасса (соответственно бурые угли Петриковского и длиннопламенные Новомосковского месторождений, Старобельской угленосной площади и Миллеровского угленосного района). Угли Новомосковского месторождения Западного Донбасса содержат около 1% Na₂O на сухой уголь при зольности 10%. Угли Северного Донбасса менее соленые и распространены локально. Но и те, и другие характеризуются очень

высокими шлакующими свойствами. Качественная характеристика углей Западного и Северного Донбасса, а также ряда месторождений России и стран дальнего зарубежья приведены А.В. Ивановой в монографии автора [Иванова, Кривега, 1985].

Дальнейшие исследования показали, что соленые угли распространены на территории Украины значительно шире, чем предполагалось ранее. Наличие соленых углей установлено в Днепро-Донецкой впадине (ДДВ), в складчатом Донбассе, Львовско-Волынском бассейне (ЛВБ), Предобруджинском прогибе (ПП). Однако объемы проведенных исследований не позволяют однозначно оценить действительные масштабы их распространения.

Что касается генезиса соленых углей, то вопреки господствующему мнению о постдиагенетическом их засолении автором была предложена концепция обогащения углей хлористым натрием на стадиях седименто- и диагенеза. К такому выводу приводят результаты изучения геологических и гидрогеологических условий залегания и закономерностей распространения соленых углей, фациальных обстановок торфонакопления, их геохимических и петрографических особенностей [Иванова, 1983а; Иванова, Кривега, 1985]. Тот или иной уровень обогащения органического вещества хлористым натрием связан с палеогеографическими условиями накопления торфа, определяющими возможность проникновения в него морских вод (паралические формации) или растворов, обогащенных хлористым натрием (размыв галогенных формаций, вулканическая

деятельность). Формирование соленых углей на стадии формирования торфяников подтверждается данными литолого-геохимического изучения углевмещающих пород ряда разрезов Западного Донбасса [Радзивилл и др., 1990], а также рентгеноструктурными исследованиями углей Новомосковского месторождения [Ковалев и др., 1989].

Начальный уровень засоления не остается постоянным и тесно связан с последующими наложенными процессами (метаморфизм, тектоническая и гидрогеологическая активность), которые ведут в той или иной степени к обессоливанью углей. Метаморфизм является основной причиной обессоливания, способствуя карбонизации органического вещества и выделению из него с поровыми водами и отщепляющимися функциональными группами химических примесей. Специфика поведения соленых углей при региональном метаморфизме определяется зависимостью обессоливания от тектонического режима, который контролирует изменение физических и реологических свойств углей, образование в них пористости и трещиноватости – путей выведения продуктов метаморфизма. Важную роль при этом играют гидрогеологические условия, которые обеспечивают вынос продуктов метаморфизма в условиях открытых структур или провоцируют трудности при застойном режиме.

По мнению сторонников концепции постдиагенетического засоления углей [Клер и др., 1987; Пожидаев и др., 1988 и др.], хлористым натрием обогащается уже сформированный уголь при проникновении соленых растворов в угольные пласты по трещинам. Поэтому солеными могут быть только низкометаморфизованные угли (бурые и длиннопламенные), обладающие высокими сорбционными свойствами и проницаемые для растворов. Однако это не отвечает действительности: соленые высокометаморфизованные угли встречаются на ряде зарубежных месторождений, обзор которых приведен в вышеупомянутой монографии [Иванова, Кривега, 1985], а также в угленосных бассейнах Украины. Об этом свидетельствуют приведенные ниже данные.

В ДДВ и Донбассе источником засоления торфа могли служить морская вода и обогащенные хлористым натрием растворы из размывающихся галогенных формаций фамена. В среднекаменноугольную эпоху, начиная с позднебашкирского времени, засоление торфяников за счет морской воды могло происходить, по-видимому, лишь в юго-восточной части ДДВ и в Донбассе. На остальной территории засоление носило скорее локальный характер вследствие размыва солянокупольных структур. В ДДВ соленые угли выявлены в отложениях нижнего и среднего карбона на территории, граничащей с Западным Донбассом,

в том числе в пределах Ливенско-Михайловской площади, где, по данным Новомосковской ГРЭ, содержание Na_2O в золе превышает несколько процентов, достигая иногда 12.4–13.5%. Кроме того, как и предполагалось ранее [Иванова, 1983а; Иванова, Кривега, 1985], они выявлены не только в прибортовых частях впадины (Голиковская, Марковская, Нарижнянская структуры в северной, Блудшинская, Малодевицкая, Монастырищенская, Остаповская в южной), но и в пределах осевой зоны грабена (Абазовская, Гужевская, Западно-Крестищенская, Мильковская, Николаевская, Побыванская, Талалаевская и другие структуры). Необходимо отметить, что повышенное содержание Na_2O зафиксировано как в буром (Б) и длиннопламенном (Д) углях, так и в газовом (Г), жирном (Ж) и даже коксовом (К) (рис.). В частности, признаки засоления выявлены в коксовых углях в пределах Рудовской структуры на глубине 5593 м ($\text{K}^+/\text{Na}^+ = 0.34$). То есть, несмотря на достигнутый уровень зрелости, здесь, в приосевой зоне впадины, отсутствовали условия, в том числе активный водообмен, которые содействовали бы выносу продуктов метаморфизма.

Геологическая обстановка формирования соленых углей Западного Донбасса, факторы их засоления и обессоливания подробно рассмотрены ранее [Иванова, 1983а; Иванова, Кривега, 1985]. Показано, что бурые угли Петриковского месторождения и длиннопламенные Новомосковского месторождения характеризуются повышенным содержанием окислов натрия. Наибольшее их количество наблюдается в углях Новомосковского месторождения, которое по сравнению с другими районами Западного Донбасса находится в наиболее неблагоприятных с точки зрения возможности обессоливания органического вещества условиях. В Западном Донбассе солеными также являются не только бурые и длиннопламенные угли [Иванова, Кривега, 1985], но и газовые. В пределах Павлоградско-Петропавловского района газовые угли в результате действия обессоливающих факторов в основном несолёные. В то же время на отдельных участках (Успенский, Вязовский) газовые угли содержат от нескольких до 15.3% Na_2O на золу при соотношении K^+/Na^+ – от 0.09 до 1.0.

Данные, полученные по открытому Донбассу, подтверждают мнение автора, что в среднекаменноугольную эпоху, которая характеризовалась накоплением на всей территории Донбасса морских и лагунно-континентальных отложений, торфы при определенных ландшафтных условиях могли засолиться, что привело к формированию большого массива соленых углей [Иванова, 1983а; Иванова, Кривега, 1985]. На северо-восточной и юго-западной бортовых частях бассейна (Северный и Западный Донбасс) соленые угли в той или иной мере сохранили свои свойства. В от-

крытом Донбассе в результате восходящих движений и метаморфизма угли были обессолены в большей степени. Хлориды, выделяющиеся при общем поднятии пород карбона, пополняли пермский эвапоритовый бассейн, расположенный в Бахмутской котловине и восточной части ДДВ, а также могли выноситься в восточном направлении на площадь современной Прикаспийской впадины. Однако признаки первичного засоления, несмотря на высокую степень углефикации (угли от жирных до отощенно-спекающихся (ОС) и тощих (Т)), сохранились в виде повышенного содержания Na_2O в золе углей и низких значений соотношения K^+/Na^+ , что иллюстрируется данными по некоторым шахтам открытого Донбасса (см. рис.).

Несмотря на небольшое количество определенных содержания щелочных металлов в нижнекаменноугольных углях западной и юго-западной частей Украины, можно констатировать наличие признаков засоления длиннопламенных и газовых углей Ковельской площади и газовых углей Межреченского месторождения (ЛВБ), где значения K^+/Na^+ составляют от 0.33 до 0.91. В газовых углях Белолесского блока ПП эта величина равна 0.65. В юрском буром угле Нижнепрутского выступа ПП с глубины 366–378 м, типично соленом по всем параметрам, содержание Na_2O на золу составляет 2.44–6.95% при соотношении K^+/Na^+ – 0.22–0.90.

Разработка концепции формирования и эволюции соленых углей, в частности в параличских бассейнах, имеет общегеологическое значение. С позиции седименто-диагенетического засоления углей решаются вопросы восстановления палеогеографических условий торфонакопления, корреляции геологических событий, уточнения истории геотектонического развития исследуемых регионов или их элементов, восстановления солевого баланса впадин [Иванова, Кривега, 1985] и т.д. В частности, автором было высказано мнение, что в формировании герцинского складчатого сооружения Донбасса основное значение имели не заальская и пфальская фазы складчатости, как полагали М.Л. Левенштейн, В.С. Попов [Геология месторождений..., 1963], Н.В. Логвиненко [1956] и др., а более ранние тектонические движения, предшествующие накоплению нижнепермских соленосных отложений или сопровождающие этот процесс. В свое время на основании изучения известняково-доломитовой толщи донецкой перми к выводу о начале инверсии Донецкого бассейна в конце позднего карбона пришел И.Ю. Лапкин [1954]. Подобного мнения придерживались И.А. Майданович [Майданович, Радзивилл, 1984] и др. Можно также отметить, что формирование блоковых структур, например, Самарского горста, относится, по всей видимости, не к предпозднесерпуховскому времени, как полагал Н.М. Заезжев [Геология месторожде-

ний..., 1963], а к раннесерпуховскому, так как Самарский горст проявился в рельефе уже при формировании угольного пласта c_1 .

Геологический аспект проблемы соленых углей, генезиса и эволюции угольного вещества тесно связан с задачами их использования. При этом важное значение имеет вопрос о формах вхождения и связи щелочных металлов и хлора с органическим веществом угля. Проведенные исследования соленых углей Западного Донбасса с содержанием окислов натрия 0.8–1.2% и хлора 0.6–1.0% на уголь при его зольности 4.4–30.1% показали, что большая часть натрия (72–90%) является водорастворимой. Оставшаяся часть входит в поглощающий комплекс угля в форме обменных катионов [Ivanova, 1996]. По данным ряда исследователей [Ковалев и др., 1989; Симонова, Шендрик, 1995] основная часть водорастворимого натрия входит в состав галита, в меньшей степени глауберита. Но независимо от того, является натрий водорастворимым или находится в форме обменных катионов, его примеси отрицательно влияют на технологические свойства угля как топлива.

Отечественная энергетика не имеет опыта промышленного сжигания соленых углей. Патентный поиск, проведенный в 70-х годах Институтом минеральных ресурсов (Днепропетровское отделение, Пожидаев С.Д.), показал, что методов их обогащения не найдено. Как показано в работе [Иванова, Кривега, 1985], попытки использования соленых углей в Германии с помощью специально сконструированных котлоагрегатов не дали положительных результатов. Сжигание соленых углей в смеси с каолином, которое проводилось в Англии, оказалось экономически невыгодным. В США соленые угли сжигаются в специальных котлоагрегатах, которые очищаются с помощью паровой или водяной обдувки. Однако известно, что в котлах после зашлаковывания труб пароперегревателей зачастую проводится их полная замена на новые. Так как сжигание обогащенного топлива считается более рациональным, в США велись разработки по обогащению сырья с помощью ионного обмена. Но этот метод оказался неэкономичным и не вышел за рамки лабораторных исследований.

В свое время исследования соленых углей Донбасса проводил Всесоюзный НИИ Минэнерго (Дик Э.П.), который рекомендовал создание нового оборудования (для Новомосковского месторождения) и реконструкцию действующих котлоагрегатов для сжигания углей без их очистки (для Богдановского месторождения). Но задача создания нового оборудования не была решена. Поэтому предлагались дальнейшие исследования коррозионных и шлакующих свойств новомосковских углей, поиски флюсов, которые позволили

бы перевести натрий в состав тугоплавких соединений, и изучение возможностей их обессоливания.

Изучение соленых углей для определения возможных путей их рационального использования продолжается. Поиски новых технологий проводятся по двум направлениям: с предварительным обессоливанием или без предварительной обработки.

Получение обогащенного топлива предлагалось методами полукоксования и газификации, которые разрабатывались в Институте проблем моделирования в энергетике Я.С. Жолудовым. Предложенные методики позволяли получать свободный от натрия продукт или после возгонки хлора в газовую фазу сохранить натрий в твердой фазе стабильного соединения.

Рядом организаций рекомендовалось предварительное обессоливание угля путем промывки водой. По технологии Украинского государственного института минеральных ресурсов (УкрГИМР) используются технические воды и осуществляется замкнутый цикл обессоливания по водной фазе за счет дистилляции. Техническое решение обессоливания при гидротранспортировке предложено в 80-х годах НПО "Хаймек". В Донецком Государственном техническом университете (ДонГТУ) [Зборщик и др., 1998] на базе технологий ГИМР и НПО "Хаймек" разработана новая технология, которая объединяет процессы промывки и агломерации угля, благодаря чему повышается степень его обессоливания, а полученное агломерированное угольное топливо может быть использовано как основа для получения водоугольных, углемазляных и водоуглемазляных топливных смесей. В этом случае, по-видимому, будет исключена необходимость отделения воды на конечном этапе транспортировки и канализации высокоминерализованных вод. Использование в процессе обессоливания высокоминерализованных вод и замкнутый цикл обогащения будет способствовать сохранению дефицитных водных ресурсов Донбасса.

Продолжаются работы по непосредственному использованию соленых углей, которые имеют значительные перспективы. Представляют интерес исследования по разработке различных методов получения жидкого топлива, которое на 30% дешевле нефтяного. В США, где переориентировка с нефти на уголь началась еще с середины 70-х годов, достигнуты значительные успехи в разработке оптимальных технологий. Много внимания уделяют этому вопросу и отечественные исследователи. Большой интерес представляют исследования, проведенные в Институте физико-органической химии и углехимии НАНУ, которые показали, что соленые угли легче поддаются ожигению, чем обессоленные с помощью водной

экстракции, а полученный продукт имеет большую долю ценных фракций [Симонова и др., 1991 и др.]. Продолжаются работы по наземной газификации соленых углей [Левченко, Марудина, 1991 и др.]. Большой интерес представляют исследования влияния солей натрия, в том числе хлористого, на газификацию углей в кипящем слое под давлением на паровоздушном дутье в лабораторных условиях. Они показали, что хлористый натрий является катализатором процесса газификации и приводит к увеличению калорийности газа [Захарьянц, 1991]. Таким образом, естественное засоление угля не является барьером для его газификации, а, наоборот, может рассматриваться как фактор роста в полученном газе доли горючих компонентов.

Соленые угли могут быть также сырьем для изготовления адсорбентов, извлечения редких и рассеянных элементов, проведения масляной агломерации и др. [Белецкий и др., 1999; Буравцова и др., 1989 и др.].

С точки зрения автора, определенный интерес представляет возможность использования соленых углей по методу, который применяется в США при сжигании сернистых углей. Угли сжигаются в установке с аэрируемым слоем и известняковым наполнителем с добавлением хлористого натрия. Выяснить эффективность упомянутого способа с использованием высокосернистого соленого угля или смеси соленого с сернистым было предложено автором еще в 1985 г. [Иванова, Кривега, 1985].

Использованию залежей соленых углей для подземной газификации благоприятствует неглубокое залегание угольных пластов в пределах Западного и Северного Донбасса (от 170–200 до 600–640 м). При разработке концепции развития топливно-энергетического комплекса Институтом проблем машиностроения в 1992 г. были предложены в качестве объектов для подземной газификации Богдановское и Петровское месторождения Северного Донбасса. Необходимо отметить, что широкомасштабному внедрению метода подземной газификации должны предшествовать глубокие исследования экологической стороны вопроса во всех его аспектах.

На данном этапе развития общества технологии освоения соленых углей должны отвечать требованиям экономичности, комплексности использования сырья и охраны окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белецкий В.С., Шендрик Т.Г., Кхелуфи А. Исследование методом ИКС межфазных взаимодействий в системе "соленый уголь–связующие" при масляной агломерации // Химия твердого топлива. 1999. № 5. С. 37–41.

- Буравцова О.А., Бутузова Л.Ф., Бутузов Г.И., Кремнева С.Г. Катионообменные свойства углей и продуктов их термоокислительной деструкции // Химия твердого топлива. 1989. № 3. С. 12–18.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 1. / Под ред. Кузнецова И.А. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 1210 с.
- Захарьянц Е.О. Каталитическая газификация угля в кипящем слое // Химия твердого топлива. 1991. № 6. С. 83–87.
- Зборицки М.П., Белецкий В.С., Кхелуфи А. Разработка технологии обогащения соленых углей // Уголь Украины. 1998. № 11. С. 38–40.
- Иванова А.В. Геолого-генетические факторы засоления углей Западного Донбасса // Докл. АН УССР. 1983а. № 3. С. 12–17.
- Иванова А.В. Петрохимические факторы засоления углей Западного Донбасса // Докл. АН УССР. 1983б. № 5. С. 6–9.
- Иванова А.В., Кривега Т.А. Соленые угли Западного Донбасса (условия формирования и проблемы использования). Киев: Наукова думка, 1985. 124 с.
- Клер В.Р., Дик Э.П., Жаров Ю.Н. Изучение соленых углей // Разведка и охрана недр. 1987. № 2. С. 30–34.
- Клер В.Р., Жаров Ю.Н., Сливинская И.И. О распределении натрия и калия в углях // Докл. АН СССР. 1988. Т. 298. № 4. С. 936–938.
- Ковалев К.Е., Шендрик Т.Г., Крыпина Л.М. Рентгеноструктурные исследования соленых углей Новомосковского месторождения Западного Донбасса // Физико-химическая активация углей. Киев: Наукова думка, 1989. С. 64–69.
- Ланкин И.Ю. Известняково-доломитовая толща донецкой перми // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1954. Т. XXIX. Вып. 4. С. 37–50.
- Левченко В.Ф., Марудина Л.М. Использование соленого угля Новомосковского месторождения // Химия твердого топлива. 1991. № 4. С. 32–35.
- Логвиненко Н.В. История осадконакопления в Донецкой геосинклинали // Ученые записки ХГУ. Т. LXXIII; Записки геол. ф-та ХГУ. Т. 13. 1956. С. 5–65.
- Майданович И.А., Радзивилл А.Я. Особенности тектоники угольных бассейнов Украины. Киев: Наукова думка, 1984. 120 с.
- Пожидаев С.Д., Грицай Р.А., Ткаченко Н.П. и др. Соленые угли, их генезис и методы изучения // Геология, методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых. М.: Изд-во ВНИИЭМС, 1988. С. 1–24.
- Радзивилл А.Я., Майданович И.А., Иванова А.В. и др. Угленосные формации и вещественный состав Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Наукова думка, 1990. 220 с.
- Симонова В.В., Шендрик Т.Г. Минеральные компоненты соленых углей и их превращения в окислительных условиях // Химия твердого топлива. 1995. № 6. С. 81–87.
- Симонова В.В., Исаева Л.Н., Шендрик Т.Г. Влияние химических особенностей углей Западного Донбасса на их превращения при термодеструкции // Химия твердого топлива. 1991. № 2. С. 24–30.
- Ivanova A.V. Formy związania sodu z substancjã organicznã węgla zasolonych w aspekcie ich użycowania // Materiały 11 Konf. “Zagodnienia ekologiczne w geologii i petrologii węgla” (28–29 listopada 1996, Gliwice). Gliwice, 1996. S. 47–48.