А. В. Иванова, Т. А. Кривега

# Соленые угли западного Донбасса

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

А. В. Иванова, Т. А. Кривега

# СОЛЕНЫЕ ШАХТЫ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1985

УДК 553.947/552.574+550.42/

Соленые угли Западного Донбасса (условия формирования и проблемы использования) / Иванова А.В., Кривега Т.А. – Киев : Наукова думка, 1985. – 124 с.

В монографии обобщены данные по геологическому строению месторождений соленых углей СССР и зарубежных стран и охарактеризованы геологические обстановки их формирования. В паралических бассейнах, в частности в Западном Донбассе, засоление происходило под влиянием морской воды, проникающей в торфяник в стадию седиментодиагенеза, что подтверждается результатами математической обработки геологического и петрохимического материала, а также прямого определения натрия в литотипах углей.

Для геологов, работающих в области петрологии углей, а также специалистов, занимающихся проблемой использования соленых углей.

Ил. 22. Табл. 16. Библиогр. с. 115 – 122 (158 назв.).

Ответственный редактор В.С.Попов

Рецензенты Д.П.Хрущов, В.И.Мельник

Редакция литературы о Земле

И 1904050000-149 258-85
М221 (04)-85

© Издательство "Наукова думка", 1985

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Значительный рост потребления топливно-энергетического сырья наряду с сокращением его ресурсов в европейской части страны и усложнением условий разработки обусловливает необходимость использования так называемых соленых углей, запасы которых составляют многие миллиарды тонн. По основным качественным показателям – это ценное энергетическое топливо, которое, однако, до сих пор не используется в связи с повышенным содержанием в нем натрия и хлора. Последние нарушают нормальную эксплуатацию котельных установок, способствуя образованию на поверхностях нагрева золовых отложений, их шлакованию и коррозии.

На Украине соленые угли обнаружены в Донбассе – высокоразвитом в промышленном отношении районе, имеющем выгодное географическое положение и широкие связи с другими районами страны. Выявленные месторождения уже разведаны и характеризуются сравнительно неглубоким залеганием угольных пластов.

В настоящее время и в ближайшие десятилетия, несмотря на опережающее развитие атомной энергетики, главным поставщиком энергии останутся крупные тепловые электростанции, работающие на органическом топливе. Причем при выполнении поставленной XXVI съездом партии задачи снижения доли нефти как топлива основное внимание будет уделено углю, потребление которого к концу XX ст. превысит расход всех других видов органического топлива. Для реализации решений съезда, предусматривающих увеличение разведанных запасов топливно-энергетических ресурсов, подготовку высокоэкономичных месторождений и усиление работ в районе действующих предприятий, вопрос о вовлечении соленых углей в эксплуатацию и расширении за их счет топливной базы страны приобретает чрезвычайно важное значение.

Такие угли известны как в Советском Союзе, так и за рубежом. За рубежом дефицит топлива назрел раньше, поэтому изучение и попытки использования соленых углей вначале предприняты в ГДР, ФРГ, США и других странах. При их изучении основное внимание уделялось прикладному

аспекту проблемы – вещественному составу углей и технологии их использования. В 50–60-х годах начали появляться публикации, в которых исследовалось поведение минеральной части соленых углей в топочном процессе /29, I22, I29 и др./. В некоторых работах анализируются вещественный состав и химико-технологические свойства соленых углей месторождений Австралии /I25, I50/, США /29/, Англии /I5I/, ФРГ /I3I/, ГДР /I4I/, ПНР /I35 – I38, I43/, ЧССР /I34/ и др. При этом геологические и палеогеографические условия формирования таких углей, их связь с определенными типами угленосных формаций и положение в ряду углей, различных по составу, генезису и степени метаморфизма, рассматривались в недостаточно широком объеме. Этим вопросам посвящено сравнительно небольшое количество публикаций по исследованию месторождений соленых углей Англии, Польши, Австрии, а в основном ГДР. Причем недостаточная изученность геологических условий формирования указанных углей приводит к тому, что по поводу генезиса одних и тех же месторождений исследователи высказывают диаметрально противоположные взгляды, например при оценке буроугольных месторождений ГДР.

В Советском Союзе, обладающем большими запасами высококачественного топлива, проблема использования соленых углей – сравнительно нова. Вначале она возникла перед теплотехниками, приступившими в 70-х годах к изучению углей Донецкого, Тургайского и Канско-Ачинского бассейнов с точки зрения пригодности их для энергетики. Когда оказалось, что они не могут найти способа освоения таких углей (как не найден он и за рубежом), к решению этой задачи были привлечены геологи. Направленность этих исследований определяется в первую очередь практическими требованиями использования соленых углей. При изучении их зачастую отсутствует системный подход к выяснению геологических факторов формирования таких углей, не учитываются обстоятельства, которые нельзя объяснить с позиции сложившихся представлений, в частности, факт существования соленых углей высокой степени углефикации и т.д. Как и за рубежом, есть разные точки зрения на их генезис.

В настоящее время работы, связанные с проблемой промышленного использования соленых углей, проводятся Всесоюзным теплотехническим НИИ (ВТИ) им. Ф.Э.Дзержинского Министерства энергетики СССР, производственными геологическими объединениями (ПГО) Ворошиловградгеология и Южукргеология, Днепропетровским химико-технологическим институтом и Днепропетровским отделением института минеральных ресурсов (ДО ИМР) Мингео УССР, Институтом проблем моделирования в энергетике



и Институтом геологических наук АН УССР, Ростовским государственным университетом и другими организациями. В I980 г. при ДО ИМР организован Совет по соленым углям, который координирует запланированные на XI пятилетку работы по решению данной проблемы.

В Институте геологических наук при изучении соленых углей был использован как вновь собранный, так и уже имеющийся материал по отечественным и зарубежным месторождениям. В результате его проработки была сделана попытка выяснить условия формирования соленых углей, объяснить их приуроченность к определенным палеогеографическим и палеотектоническим обстановкам, охарактеризовать наиболее существенные закономерности в их распространении по площади и в разрезе угленосных отложений, то есть в конечном итоге – уяснить, являются ли соленые угли случайными образованиями различного генезиса или же их формирование – закономерный итог определенных условий, имеющих место в геологической истории того или иного региона.

Основным объектом исследования являлся хорошо изученный промышленный район Западного Донбасса, в котором находится Новомосковское месторождение, содержащее наиболее соленые угли из всех известных в Советском Союзе месторождений углей подобного типа.

Угли месторождения изучались химическими, физическими и петрографическими методами. Геохимический материал обрабатывался методами математической статистики. Анализировались вероятные пути использования и обессоливания углей для получения облагороженного топлива. При написании настоящей монографии, кроме результатов указанных исследований, использованы также материалы, полученные в Центральной лаборатории ПГО Южукргеология при изучении связи солености с вещественным составом углей и степенью их метаморфизма.

Выяснение геологических и гидрогеологических условий Новомосковского месторождения соленых углей, общей фациальной обстановки торфонакопления, геохимических особенностей углей и закономерностей их распространения с учетом данных по другим регионам позволило прийти к мнению о едином пути их формирования в стадию седиментодиагенеза при наличии того или иного источника солей. Засоление углей в эпигенетическую стадию исключается, так как в условиях метаморфизма идет естественный процесс обуглероживания угольного вещества с выделением из него низкомолекулярных продуктов и выносом части минеральных веществ, прежде всего легко растворимых.

Монография написана кандидатом геол.-минерал. наук А.В.Ивановой. В составлении разделов по петрографической характеристике углей Новомосковского месторождения и связи их петрографических пара-

метров с соленостью приняла участие старший углепетрограф ПГО Южукргеология Т.А.Кривега. Т.А.Кривега, как и другие геологи производственных организаций Мингео УССР, стоит на позициях гипотезы эпигенетического засоления углей.

Авторы признательны ответственному редактору доктору геол.-минерал. наук В.С.Попову, докторам геол.-минерал. наук Н.В.Логвиненко и Е.А.Баскову, кандидатам геол.-минерал. наук Н.А.Игнатченко и А.В.Лапо, а также заведующему отделом геологии угольных месторождений кандидату геол.-минерал. наук А.Я.Радзивиллу за консультации, ценные советы и помощь, оказанную при работе над темой и написании данной книги, а также сотрудникам отдела Л.А.Пристинской и А.М.Затуловской.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ НАТРИЯ И ХЛОРА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН И СССР

### Геологическое строение и качество углей зарубежных месторождений

Для выяснения условий распространения соленых углей рассмотрим известные в настоящее время месторождения и бассейны, содержащие подобные угли. Такие месторождения известны в Австралии, Северной Америке (США) и Европе (Великобритании, ФРГ, ГДР, ПНР, ЧССР, Австрии).

В Австралии соленые угли распространены на буроугольных месторождениях штата Виктория, сосредоточенных во впадине Латроб-Велли, расположенной в области палеозойской складчатости. Депрессия выполнена палеогеновыми угленосными отложениями, которые подстилаются осадками паралической формации юрского возраста и перекрываются четвертичными образованиями. Угленосная толща включает озерные и аллювиальные терригенные отложения эоцена и нижнего олигоцена, фациально замещающиеся на востоке морскими осадками. Она расчленена многочисленными субширотными и меридиональными сбросами позднемиоценового и плиоценового возраста /27, 65, 144/.

Благоприятные условия для торфонакопления возникли в эоцене – раннем олигоцене, когда пенепленизированная в меловой период столовая страна была разбита тектоническими нарушениями на отдельные блоки, в результате неравномерного смещения которых образовался расчлененный рельеф. В наиболее пониженные его участки трансгрессировало палеогеновое море, а в прилегающей к эстуарию прибрежной низменности возникли торфяные болота /127/.

Мощность угольных пластов, залегающих на глубине 60 – 90 м и более, достигает 30, а в местах слияния пластов Яллоурн и Моруэлл-330 м /27, 127, 144/.

Различают два основных типа углей: землистые и лигнитовые /144/. Качество их характеризуется следующими показателями /27, 65, 127/ (в % на сухую массу): влажность 52,3 – 66,5; зольность 1,4 – 4,8;

количество летучих 45,9 – 51,8; углерода 66,1 – 68,4; водорода 4,7 – 4,9; серы 0,3 – 4,8 ;хлора 0,1 – 0,3; теплота сгорания 25,8 – 28,4 мДж/кг.

Химический состав золы пласта Яллоурн (в % при зональности 2–3 %): $SiO_2$ – 5 – 13; $Al_2O_3$ – 6 – 25; $Fe_2O_3$ – 24 – 38; $CaO$ – 6 – 10; $MgO$ – 11 – 16; $Na_2O$ – 3 – 4; $K_2O$ – 1; пласта Моруэлл (при зональности 2 – 4 %): $SiO_2$ – 3 – 14; $Al_2O_3$ – 2; $Fe_2O_3$ – 14 – 16; $CaO$ – 18 – 35; $MgO$ – 15 – 23; $Na_2O$ – 3 – 10; $K_2O$ – 0,2. Температура плавкости золы составляет 1280 – 1320 °С. Как видно из этих данных, уголь пласта Моруэлл, слагающего одноименную моноклиналь, расположенную восточнее моноклинали Яллоурн, т.е. ближе к морскому палеобассейну, больше обогащен натрием.

По данным Р.А.Дурье [125], около 50 % натрия и железа, а также весь кальций и магний находятся в угле в виде катионов, связанных с угольным веществом через кислые карбоксильные группы, остальной натрий соединен с хлором. Хлор частично содержится в виде органических соединений.

В Соединенных Штатах Америки запасы углей, вызывающих осложнения при сжигании, весьма значительны. Это бурые лигнитовые угли, слагающие пласты Миссисипского и Техасского бассейнов (Южная угленосная провинция) и в значительной степени бассейна Форт-Юнион (штаты Северная и Южная Дакота и Монтана), а также угли, переходные между бурыми и каменными (по американской классификации, суббитуминозные), и частично каменные (битуминозные), характерные в основном для угленосных провинций Скалистых гор и Северной Великой равнины [66].

Угленосные отложения Южной угленосной провинции, находящейся на северном побережье Мексиканского залива и являющейся одновременно солянокупольной провинцией [92] с соленосной толщей предположительно юрского возраста, представлены песчано-глинистыми образованиями группы Вайлкокс, которые отлагались в палеогене преимущественно в лагунно-морской обстановке.

Основное торфонакопление в провинциях Северной Великой равнины (включая бассейн Форт-Юнион) и Скалистых гор происходило в мел-палеогеновое время, локализуясь преимущественно вдоль восточного фронта Скалистых гор, где сформировалась мощная толща терригенных угленосных отложений континентального генезиса, которая замещается в восточном направлении морскими образованиями. Мощность угольных пластов составляет от 1,0 – 1,5 до 3,5 – 5,5, достигая иногда 10 – 15 и даже 30 м.

Лигнитовые и переходные от бурых к длиннопламенным угли преимущественно малозольные (средняя зольность обычно не превышает 4 –



8 %), чаще малосернистые. Состав золы лигнитовых углей штата Северная Дакота [29] следующий (в %): $SiO_2$ – 11 – 28; $Al_2O_3$ – 8 – 14; $Fe_2O_3$ – 2 – 16; $CaO$ – 18 – 31; $MgO$ – 2 – 9; $TiO_2$ – 0,2 – 0,6; $P_2O_5$ – 0,0 – 0,6; $SO_3$ – 12 – 27; $Na_2O$ – 1,4 – 6,5; $K_2O$ – 0,2 – 0,6. В золе углей Миссисипского бассейна содержание $Na_2O$ достигает 20 % [130]. Температура плавкости золы лигнитовых углей составляет в среднем 1270 °С.

По данным Г.Гренховда [29], переходные угли при одинаковой зольности и содержании натрия по показателям загрязнения равноценны лигнитовым углям Северной Дакоты. Натрий в углях связан с его гуминовой частью.

Есть сведения [128] о наличии хлора в углях Иллинойского каменноугольного бассейна, представляющего собой синеклизу в теле Северо-Американской древней платформы. Угленосны пенсильванские песчано-глинистые отложения, состоящие из чередующихся континентально-морских и морских циклов. В разрезе насчитывается свыше 20 угольных пластов мощностью 0,6 – 2,6 м. Угли, как правило, малозольные, от средне- до многосернистых, с содержанием летучих веществ 22 – 31 % [66].

Таким образом, соленые угли США приурочены к отложениям, в той или иной степени испытавшим в период седиментации влияние моря. Кроме того, все рассмотренные угленосные провинции находятся в районах развития галогенных пород палеозойско-мезозойского возраста [92], которые также могли оказать влияние на формирующийся торфяник, в особенности в Южной угленосной провинции с широко развитым в ней диапиризмом соленосных образований.

На Британских островах угли, содержащие хлор и натрий, сосредоточены на месторождениях Центрального (бассейны Йоркшир – Ноттингемшир, Ланкашир), Северного (бассейны Нортумберленд и Дургам) и Южного (бассейны Южно-Уэльский и Кент) районов, а также на месторождении Форт-Уэлли (Шотландия). Все они образовались в краевом прогибе герцинского складчатого сооружения и сложены осадками паралического типа со следами вулканической деятельности. Угольные пласты наиболее широко распространены в верхнем карбоне. Значительная часть угленосных отложений перекрывается толщей пермо-триаса, содержащей на северо-востоке галогенные осадки [64, 96].

В Центральной Англии угленосная толща представлена терригенными образованиями, содержащими в бассейне Йоркшир – Ноттингемшир, особенно в южной его части, большое количество изверженных пород. Мощность угольных пластов составляет от 0,6 до 2,4 – 2,7 (в среднем 1,2 м), достигая иногда 3,3 м (Ланкашир).

Угли каменные с содержанием углерода 80,2 – 86,8 %, обычно малозольные (5,0 – 7,5, редко 10 %), с влажностью от 1 до 10 – 14 % и выходом летучих веществ 32 – 40 (Йоркшир) – 24 – 44 % (Ланкашир). Теплотворная способность изменяется от 30,2 – 34,8 (Йоркшир) до 32,4 – 37,0 мДж/кг (Ланкашир). Угли месторождений Йоркшира – Ноттингемшира по сравнению с Ланкаширом отличаются повышенным содержанием хлора, по которому в Англии принято классифицировать угли по их пригодности для использования. В частности, угли месторождения Мидленд содержат 1,0 – 1,2, максимально 2,0 % хлора, содержание которого закономерно повышается на восток и с увеличением глубины. Источником хлора предположительно считаются /64, 151/ залегающие выше породы перми и триаса. Состав золы изменяется следующим образом (%): $SiO_2$ – 25 – 48; $Al_2O_3$ – 14 – 27; $Fe_2O_3$ – 6 – 31; $CaO$ 5 – 19; $MgO$ – 1 – 5; $Na_2O$ – 0,5 – 6,0. Температура плавкости золы обычно не превышает 1200 °С.

Угленосная толща месторождений Северной группы, где основная промышленная угленосность связана с образованиями верхнего карбона, но отмечается и в нижнекаменноугольных отложениях, представлена терригенными песчано-глинистыми образованиями, перекрытыми терригенно-карбонатными и галогенными осадками пермо-триаса. Мощность угольных пластов составляет 0,9 – 1,1 м.

Угли каменные, средней и низкой степени метаморфизма с содержанием углерода 83,7 – 88,6 %, летучих веществ 30 – 40 %. Количество хлора в углях возрастает от 0,2 на западе до 0,3 – 0,5 % на востоке, достигая в прибрежных скважинах 0,9 – 1,0 % (при содержании углерода 83,4 – 84,6 %), причем в последних его количество уменьшается с глубиной.

В угленосной толще Южного района сохранились главным образом отложения нижней угленосной серии (верхний карбон), представленной сланцами, в том числе и морского генезиса. Серия содержит пласты угля мощностью от 0,6 – 2 до 4 м и более. По степени метаморфизма угли включают всю гамму – от жирных до антрацитов (содержание углерода более 86 %). Количество хлора в углях не превышает 0,10 – 0,15 %, что Э.Скипси /147/ связывает со значительной их углефикацией.

В Шотландии, в отличие от угольных бассейнов Англии, угленосность сохранилась преимущественно в отложениях нижнего карбона. Верхнекаменноугольная угленосная толща, некогда составлявшая единый массив, сейчас расчленена на отдельные останцы в складчатой эродированной структуре. Мощность пластов углей обычно составляет 0,9 – 1,1, достигая иногда 1,5 – 2 м.

Угли нижнего карбона газовые и более высокой степени метаморфизма (содержание углерода 83,0 – 91,2 %), верхнего – газовые (содержание углерода 82,1 – 86,2 %). В углях известняковой серии нижнего карбона наблюдается очень высокое содержание хлора (до 0,75 – 0,96 %). В то же время в продуктивной толще верхнего карбона количество хлора в углях редко превышает 0,10 %.



Изучение закономерностей распределения хлора в угленосных бассейнах Великобритании в плане и вертикальном разрезе позволило Э.Скипси констатировать следующее: хлор в углях установлен во всех месторождениях; содержание хлора уменьшается с увеличением степени метаморфизма угля, что связано с изменением его микроструктуры; в угле с содержанием углерода более 85 – 86 % обычно наблюдается быстрое уменьшение содержания хлора, которое редко превышает 0,2 %, хотя на разных месторождениях пороговый предел этих изменений может различаться; в пластах угля под отложениями триаса может наблюдаться как повышение, так и понижение содержания хлора, что вызвано гидродинамическим и гидрохимическим режимами конкретных месторождений; хлор (около 50 %) связан с натрием, а также находится в виде органических соединений.

Таким образом, все месторождения соленых углей Великобритании содержат в угленосных толщах морские слои. Причем с увеличением мористости количество хлора в углях увеличивается, например, на месторождениях Северной Англии, а также Шотландии, где более метаморфизированные угли, заключенные в известняковой серии, содержат значительно больше хлора, чем выше залегающие угли продуктивной толщи.

Источником хлора в бассейне Йоркшир – Ноттингемшир могли быть продукты вулканической деятельности, которая активно проявлялась в этом районе в период формирования торфяников. О том, что вулканизм сопровождается выносом хлоридов, свидетельствует очень частое сонахождение солей с магматическими породами. Многочисленные примеры такой ассоциации приведены в книге В.И.Сованского /92/.

В ФРГ соли натрия обнаружены в бурых углях Нижнерейнского района, представляющего собой межгорный грабен, заложенный в теле субгерцинской платформы в постмеловое время и развивающийся вплоть до плейстоцена. Наиболее распространены угленосные отложения миоценового и олигоценового возраста, сложенные континентальными и морскими фациями. Континентальные осадки, развитые на юге района, вклиниваются в морские отложения, мощность которых увеличивается в северном направлении. Основное промышленное значение имеет угленосность нижнего миоцена, наиболее высокая в центральной части района, где известен пласт мощностью более 90 м.

Уголь бурый землистый с большим количеством влаги (50 – 60 %),

содержание золы составляет I - 20 %, кислорода I0 - II%, углерода 27 - 28 %, теплота сгорания 6,3 - 8,8 мДж/кг [64]. Состав золы следующий [I22] (в %): $SiO_2$ - 2,5 - 5I,8; $Al_2O_3$ - 2,2 - 20,3; $Fe_2O_3$ - I,I - I5,5; $MgO$ - 2,I - 22,2; $CaO$ - 7,0 - 40,4; $SO_3$ - 4,8 - 26,I; $Na_2O$ - 0,4 - 9,7; $K_2O$ - 0,I - I,6. Причем с глубиной по разрезу пласта содержание $CaO$ в минеральной составляющей уменьшается, а количество $MgO$, $Na_2O$ и $K_2O$ возрастает.

Р.Байзинг [I22] связывает происхождение магния, кальция и натрия с материнской золой растений, а алюминия и кремния - с привносимым в пласт терригенным материалом. Критерием такого деления является отношение максимального и минимального содержания данного оксида (по Р.Байзингу, фактора). В первом случае оно составляет 2-5, во втором - 30-200.

Есть сведения [I3I] о наличии водорастворимых солей в углях Рурского каменноугольного бассейна, образовавшегося в краевом прогибе герцинского складчатого сооружения. Здесь угленосность развита в отложениях верхнего карбона, разделяющегося на две толщи: нижнюю, или непродуктивную, сложенную морскими осадками, и верхнюю, продуктивную, представляющую собой чередование песчано-глинистых и карбонатных прибрежно-морских и континентальных осадков. Продуктивная толща на юге бассейна на незначительной площади выходит на поверхность, на остальной территории несогласно перекрывается образованиями цехштейна, триаса и мела.

Воды продуктивной толщи высокоминерализованы, содержание в них солей непостоянно (92,0 - I79, 9 г/л), оно увеличивается в западных, северных и восточных частях бассейна, где минерализация возрастает с глубиной. Причем 75 - 80 % сухого остатка составляет хлорид натрия.

Накопление угленосных отложений происходило в условиях паралического бассейна. Мощность рабочих угольных пластов составляет 0,5 - 2,8, даже 6, в среднем I,I - I,2 м.

Угли бассейна в основном гумусовые, от длиннопламенных до антрацитов, средне- и малозольные (обычно 6 - 8 %), малосернистые, с высокой теплотой сгорания (36 мДж/кг для жирных углей). В них содержится 0,3 - 2 г на I кг угля, в среднем 0,6 г/кг хлоридов натрия. Количество водорастворимых солей, определенных в газовых углях, составляет 0,85 - I,68, в жирных - 0,58 - 2,46 г/кг. В угольной мелочи и пыли содержание солей увеличивается.

Исследования, направленные на установление связи солености углей с их петрографическим составом, однозначного ответа не дали: средневзвешенное содержание водорастворимых солей в пачке, состоящей



преимущественно из матового угля, составило 0,58 г/кг; в пачке, где преобладают блестящие угли, - 2,46 г/кг. В то же время для прослоя блестящего полосчатого угля получено наиболее низкое значение (0,24 г/кг). Под микроскопом обнаружить соли в угле не удалось.

Как отмечает Э.Гофман [I3I], содержание "внутренней" соли в угле невелико и мало влияет на его подготовку и обогащение. Большее влияние на эти процессы оказывает высокоминерализованная шахтная вода, определяющая наличие "внешней" соли. Указанный автор, не высказывая мнения относительно происхождения "внутренней" соли в углях, отмечает существование двух точек зрения на генезис шахтных рассолов. Одни исследователи связывают их возникновение с выщелачиванием отложений цехштейна на севере и северо-западе бассейна и миграцией образовавшихся рассолов по системе трещин в область разработки, другие считают их диагенетически измененной морской водой, которая осталась на месте захоронения или мигрировала в породы-коллекторы.

В ГДР месторождения соленых углей приурочены главным образом к эоцену ("старая буроугольная формация") и находятся в Тюринго-Саксонском угленосном районе, расположенном на герцинской платформе. По условиям образования их относят к солянокупольному или комбинированному эпейрогенически-карстовому типам (по О.Вагенбрету) [64]. Углевмещающими породами являются песчано-глинистые образования, залегающие на допалеогеновых отложениях (карбоне, перми, триасе) и перекрывающиеся песчано-глинистыми морскими и континентальными осадками олигоцена.

Наиболее крупными являются месторождения Аммендорфа и Эгельнской мульды. В районе Аммендорфа - Валлендорфа главный угольный пласт имеет пологое залегание и перекрывается одним или несколькими верхними пластами. В районе Эгельна - Ошерслебена угленосные отложения залегают в двух мульдах. Мощность угольных пластов изменяется от 2-3 до 30-50 м.

Угли гумусовые с прослоями сапропелевых, от землистых плотных до блестящих. Влажность их составляет от I2 - I9,7 до 53 - 58, зольность от I2,I - I5 до 23 %, теплота сгорания 9,6 - II,5 мДж/кг, температура плавкости золы 650 - I000 °С [64, I33]. Содержание натрия (в виде $Na_2O$ ) в золе составляет 6 - I7, в сухом угле в среднем I (район Аммендорфа) - 3,8 % (район Эгельна) [I40]. Исследования К.Штаммлера [I48] в Эгельнской мульде на поле Ледербург, где угли обогащены хлористым натрием, показали, что безводный уголь с 59,4 % углерода и зольностью I6,98 % содержит до 6,46 % хлорида натрия (38,06 % на золу) и 2,05 % $Na_2O$ в составе гуматов (I2,09 % на зо-

лу). Содержание общего натрия составляет 5,48 % (32,27 % на золу). По данным В.Цигенхардта и Г.Крамера /153/, в углях Южной Эгельнской мульды содержание хлорида натрия, достигающее 5,6 – 6 % в сухом угле, уменьшается, а натрия в составе гуматов увеличивается по мере удаления от северо-восточного крыла мульды, где галогенные образования выходят на дневную поверхность. Кроме того, как показали наблюдения Г.Лемана /139/, содержание натрия возрастает с глубиной, в частности, в районе Эгельна – Ошерслебена от 15,1 в золе (2,6 % на сухой уголь) на глубине 70 м до 20,3 % (4,7 % на сухой уголь) на глубине 236 м. В углях месторождения Аммендорф наиболее высокое содержание соли наблюдается в месте выхода под палеогеновую поверхность слоев цехштейна. Причем верхняя часть угольного пласта больше обогащена $Na_2O$ (до 30 % в золе), чем приподошвенная (5 %) и с увеличением количества натрия увеличивается содержание хлоридов. На западной окраине поля Валлендорф, где угольный пласт залегает непосредственно под водопроницаемой галькой, уголь характеризуется минимальным содержанием солей.

Относительно генезиса солей в бурых углях Средней Германии нет единой точки врения. Как отмечает Г.Леман /139/, ни у кого не вызывает сомнения источник засоления углей, каковым являются выщелоченные соли цехштейна, спорным является вопрос о времени их засоления. В.Цигенхардт и Г.Крамер /153/, исходя из факта увеличения солености с глубиной залегания и мощностью угольного пласта, делают вывод о накоплении солей в процессе торфообразования. Такого же мнения придерживается Х.Якоб /133/, считающий, что указанная точка зрения подтверждается региональным характером распространения соленых углей: если бы засоление происходило в стадию эпигенеза, угольное вещество, являясь из-за малых диаметров пор непроницаемым для жидкостей и газов, могло засолиться лишь локально благодаря проникающим по трещинам рассолам. Он отвергает способность углей в эпигенетическую стадию обмениваться основаниями с проникающими в них высокоминерализованными растворами. Засолению органического вещества в стадию торфообразования могут, по Х.Якобу, благоприятствовать следующие условия: накопление торфов в паралическом бассейне с постоянным влиянием моря, семиаридный климат, наличие галогенных отложений или щелочных изверженных пород в районе развития торфяников. Другие исследователи /139, 140/ считают, что увеличение солености углей с глубиной по мере увеличения минерализации подземных вод, совпадение контуров распространения соленых углей с выходами подстилающих их отложений цехштейна в одних районах и увеличение солености углей в зонах примыкания угленосных отложений к седловидным поднятиям цехштейна в других свидетельствуют об обогащении натрием и его соединениями в эпигенетическую стадию.



Сведения об углях ПНР, содержащих натрий и хлор, имеются по Конин-Вроцлавскому угленосному району и месторождению Туров Житовского бассейна, расположенных соответственно в центральной и западной частях страны. Формирование их происходило на герцинской платформе и связано с внутриконтинентальными бассейнами /64/.

Буроугольные месторождения Конин-Вроцлавского района по условиям образования относятся в основном к карстовому и солянокупольному типам. Наиболее крупное из них – месторождение Конин, представляющее собой изолированные залежи с пластами угля мощностью 1,5 – 18 м. Угленосные песчано-глинистые отложения верхне- или среднемиоценового возраста перекрываются обычно песками и моренными образованиями плейстоцена, подстилаются песками и опоками предположительно олигоцена, залегающими на мергелях маастрихта /64/. Угли карьера Патнов месторождения Конин образовались, по данным Т.Крусцевского /137/, автохтонно в пресноводном бассейне, по мнению Я.Кула /135, 136/ – в солоноватых лагунах.

Угли месторождения содержат около 50 % влаги, 15 % золы и 59 % летучих веществ. Состав золы следующий (в %): $SiO_2$ – 17,7 – 49,5; $Al_2O_3$ – 0,4 – 4,3; $Fe_2O_3$ – 6,5 – 19,0; $MgO$ 2,0 – 4,6; $CaO$ – 23,3 – 35,0; $Na_2O$ – 1,4 – 1,6; $K_2O$ – 0,3 – 2,3. Натрий входит в состав галита, но незначительное количество его (1,5 – 3,4 % от других минеральных примесей) позволяет, по мнению Я.Кула /136/, считать уголь бессолевым.

В отличие от него уголь месторождения солянокупольного типа Рогозно характеризуется высоким содержанием солей /143/. Угленосные песчано-глинистые отложения с двумя угольными пластами залегают на гипсовой шляпе соляного штока. Этим определяются разные свойства верхнего и нижнего пластов угля. В угле верхнего пласта со средней зольностью 15 %, количеством общей серы 2,5 %, углерода 68 % и теплотой сгорания 28 мДж/кг содержится 0,1 – 0,4 % $Na_2O$ (на сухой уголь). В угле нижнего пласта, формировавшегося под влиянием карстообразующих процессов в гипсовой шляпе, при зольности 17 % количество серы достигает 5,8 %. Будучи более метаморфизованным, он содержит 70,5 % углерода и имеет более высокую теплоту сгорания (29,3 мДж/кг). Количество оксида натрия по площади пласта изменяется от 0,3 на юго-востоке до 2-3 % на северо-западе. Исследование содержания натрия и его солей, проведенное по трем профилям, показало, что 38 – 47 % натрия связано с хлором, соответственно 53 – 62 % натрия входит в состав гу-

матов. Во всех профилях количество натрия возрастает с приближением к подошве пласта, т.е. к источнику его засоления. Мнения относительно времени засоления угля авторы не высказывают.

На буроугольном месторождении Туров, относящемся к тектоническому типу /64/, угленосные песчано-глинистые отложения миоцена со следами гляциотектоники подстилаются изверженными породами и перекрываются морскими отложениями олигоцена. Угленосные образования в долине р. Нейсе выходят на поверхность, к центральной части месторождения полого погружаются и расщепляются на многочисленные пачки. Мощность основного пласта ("Верхнего") составляет 50-70, местами 100 м. На некоторых участках встречается и нижний пласт угля мощностью 6-30 м.

В угле содержится 42 - 57 % влаги (на рабочее топливо), 5 - 6 % золы (на сухое топливо), 35 - 53 % летучих веществ, 10 - 16 % смолы, теплота сгорания рабочего топлива составляет 10 мДж/кг. Состав зольной части угля следующий (в %): $SiO_2$ - 31,6; $Al_2O_3$ - 22,2; $Fe_2O_3$ - 13,5; $MgO$ - 6,5; $CaO$ - 9,9; $SO_3$ - 6,5; $Na_2O$ - 5,8; $K_2O$ - 2,0; $TiO_2$ - 0,8; $P_2O_5$ - 0,4. Соединения щелочных металлов в угле представлены хлоридами, сульфатами и гуматами. Их происхождение Т.Круссевский /138/ связывает с выветриванием богатых щелочными металлами магматических пород, в результате чего торфонакопление происходило в условиях солоноватоводной среды.

В ЧССР /64, 134/ соленый уголь обнаружен в Остравско-Карвинском угольном бассейне, который представляет собой синклинорий в теле эпигерцинской платформы, осложненный значительным количеством тектонических нарушений. Продуктивные угленосные отложения верхнего карбона состоят из двух толщ (остравской и карвинской). Остравская толща сложена циклически чередующимися песчано-глинистыми угленосными образованиями дельт, озер и прибрежных лагун, залегающих на непродуктивных морских отложениях серпуховского яруса. В кровле некоторых пластов угля залегают аргиллиты морского происхождения. Паралические отложения остравской толщи несогласно перекрываются песчано-глинистыми образованиями лимнического типа карвинской толщи. На размытой поверхности складчатого карбона залегают песчано- и карбонатно-глинистые отложения миоцена. Мощность угольных пластов изменяется от 0,5 - 0,7 (остравская толща) до 3 - 15 м (карвинская толща).

Угли бассейна каменные всех стадий метаморфизма (от длиннопламенных до антрацитов), степень углефикации их увеличивается с глубиной по правилу Хильта. По вещественному составу исходного растительного материала угли гумусовые, средне- и малозольные, с влажностью 1,5 - 7 %, содержанием серы 1-2, летучих веществ 8 - 42, углерода 82 - 92, водорода 4 - 5,5 %. Теплота сгорания составляет 29,3-36,4 мДж/кг. В золе углей содержится 8,8 % $Na_2O$, причем количество его возрастает с глубиной. М.Кесслер и др. /134/ связывают его высокое содержание со вторичной инфильтрацией водных растворов, богатых хлоридами, из песчаников, перекрывающих угленосную толщу.



Сведения о соленых углях Австрии /64, 121/ есть по месторождению Кефлах-Фойтсберг, расположенному в наложенной альпийской впадине. Здесь угленосные отложения миоцена слагают осложненную сбросами мульду, ограниченную на севере верхнемеловыми образованиями (слои Гозау), а в других районах - преимущественно карбонатными отложениями палеозоя. Они представлены песчано-глинистыми образованиями, выходящими на поверхность или перекрытыми паннонскими галечниками. По И.Штинье, угленосная толща отлагалась в условиях развивающегося на плоской равнине карста. Мощность пластов достигает 20-50 м. Они сложены мягкими бурыми углями, содержащими 30 - 40 % влаги, 5 - 15 % золы, теплота сгорания рабочего топлива составляет 10 - 14,7 мДж/кг.

А.Алькер /121/ отмечает наличие в крупных (более 5 мм) трещинах углей каменной соли волокнистого строения, изредка в форме кубических кристаллов. Между углем и солью в большинстве случаев наблюдается тонкий прослой допплерита. Так как генезис углей связан с озерными пресноводными отложениями, обогатиться солями, по его мнению, они могли или вследствие кратковременного перекрытия площади торфонакопления морскими водами, или в связи с миграцией соляных растворов из карстующихся отложений палеозоя.

Таким образом, месторождения соленых углей материковой Европы приурочены в основном или к паралическим бассейнам герцинской зоны складчатости (Рурский, Остравско-Карвинский бассейны), в которых торфяники подвергались воздействию морской воды, или к областям развития галогенных образований от пермского до юрского возраста, занимающих значительную часть территории ФРГ, ГДР и ПНР и оказавших влияние на торфяники, формирующиеся в палеоген-неогеновое время.

## Геологическое строение и качество углей месторождений территории СССР

В Советском Союзе угли с повышенным содержанием натрия или натрия и хлора выявлены в европейской части страны (Западный и Северный Донбасс), в западной части Сибири (Тургайский, Карагандинский и Канско-Ачинский бассейны), в Средней Азии и Восточной Сибири (на северо-востоке страны, в Приморском крае и на о-ве Сахалин).

В Северном Донбассе, представляющем собою северную окраину верх-

непалеозойского складчатого сооружения /20/, угли, содержащие хлориды натрия, обнаружены на Старобельской угленосной площади и в Миллеровском угленосном районе, которые находятся на южном склоне Воронежского кристаллического массива. В геологическом строении территории принимает участие толща осадочных отложений палеозоя и мезо-кайнозоя, моноклинально залегающая на кристаллических породах докембрия, поверхность которых погружается на юго-запад к открытой части Донбасса. Осадочная толща разбита единичными разрывными нарушениями типа сбросов с небольшими амплитудами (50 - 100 м).

Гидрогеологические условия угленосной толщи определяются взаимосвязью водоносных комплексов отдельных крупных структур (складчатого Донбасса и Воронежского кристаллического массива), образующих единую гидродинамическую систему. Подземные воды движутся с юга и севера, а на склоне в пределах Старобельско-Миллеровской моноклинали происходят их накопление и медленная разгрузка. Каменноугольные отложения перекрываются региональным верхнемеловым водоупором. Этим объясняется увеличение минерализации подземных вод карбона в южном направлении от 10 - 15 до 50 - 100 г/л и более. Воды по составу хлоридно-натриевые и хлоридно-натриево-кальциевые.

Промышленная угленосность связана со среднекаменноугольными терригенно-карбонатными отложениями морских, континентальных и переходных фаций и уменьшается в северном и северо-западном направлениях. Торфонакопление происходило в условиях паралического бассейна с периодическим усилением континентального или морского режимов. Благоприятные условия для образования торфяников наступали в период регрессий моря, в обстановках заболоченных лагун, прибрежно-морских равнин и обводненных болот.

Углевмещающие породы Старобельской площади (свиты $C_2^2 - C_2^7$) содержат от 50 угольных пластов на юге до 7 - на севере, из них соответственно 13 и 1 рабочих с мощностью от 0,45 - 0,6 до 1,5 - 3,2 м. Угли в основном гумусовые, по вещественному составу преимущественно дюрено-клареновые с разложившимся гелифицированным веществом и относительно небольшим содержанием микрокомпонентов групп фюзинита и лейптинита. По степени углефикации бурые ($Б_3$) и длиннопламенные, с пониженной и средней зольностью (7,5 - 10,3 %), чаще среднесернистые (до 2 %).

По данным геологов ПГО Ворошиловградгеология, угли основного промышленного пласта $l_2^{11}$ содержат до 43 - 44 % летучих веществ, до 76 - 77 % углерода, 5,1 - 5,3 % водорода, теплотворная способность их 30,5 - 31,8 мДж/кг. Зола углей содержит значительное количество оксида кремния (32 - 54 %), меньше - оксидов алюминия (10 - 18%), железа (12 - 24 %) и кальция (10 - 22 %) и характеризуется кислым составом. Содержание $Na_2O$ в золе составляет 3,2 - 10,9 %, в расчете на уголь - 0,1 - 1,3 %. Температуры плавкости золы следующие (в $^{o}C$): $t_1$ - 1060, $t_2$ - 1110 - 1130, $t_3$ - 1190 - 1235.



В угленосных отложениях Миллеровского района (свиты $C_2^3 - C_2^7$) содержится 28 пластов угля, в том числе четыре рабочих мощностью свыше 0,45 м. Наиболее устойчив по мощности (0,6 - 2,35 м) пласт $l_2$. Угли гумусовые, дюрено-кларены и кларено-дюрены, переходные от бурых к длиннопламенным. Зольность их значительно изменяется, по содержанию серы встречаются угли от средне- до многосернистых.

Л.Я.Кизильштейн и др. /50/ исследовали уголь пласта $l_2$ в западной части Миллеровской поисковой площади, примыкающей к Богдановскому месторождению с востока. Изученные образцы характеризовались зольностью 11,0 - 19,9 %, содержанием серы 1,7 - 2,8 %, кислым составом золы (отношение суммы кислых оксидов к основным 1,77 - 4,68). Содержание натрия в угле составляет 0,1 - 1,8 %, увеличиваясь в нижней и средней частях пласта, что авторы связывают с изменением режима торфяной залежи в период торфонакопления. Изучение его распределения по площади показало, что минимальные концентрации натрия наблюдаются на северо-западе и северо-востоке территории, максимальные в центральной части, где пласт имеет наиболее сложное строение, максимальную минерализацию, наиболее кислый состав золы и наряду с натрием самые высокие содержания кальция и серы. С позиций седиментодиагенетического засоления органического вещества углей это объясняется геоморфологической дифференцированностью области древнего торфонакопления. Центральная часть изученной территории гипсометрически соответствовала наиболее низким частям торфяного массива, прилегающего к водотоку. По мере удаления от него в северном и северо-западном направлениях торфонакопление происходило на более возвышенных участках местности, в связи с чем упрощена морфология пласта и снижены все перечисленные выше показатели. Минимальных значений они достигают в зоне с наиболее высокими гипсометрическими отметками. Привнос элемента зависит от активности гидрологического режима торфяной залежи, в частности для концентрации натрия в органическом веществе благоприятна высокая активность водотока, ведущая часто к перекрытию торфа минеральными осадками. Авторы подчеркивают, что связь натрия с зольностью указывает на зависимость содержания натрия от характера минерального питания торфяной залежи, а параллельный рост содержания серы, являющейся одним из самых надежных индикаторов морского влияния, свидетельствует о том, что "натрий и сера имеют общий источник - морские воды, поступившие в область торфонакопления" /50, с. 72/.

Содержание натрия в угле выше отношений, эквивалентных для $NaCl$, что объясняется наличием некоторого количества натрия в ионной или адсорбционной формах связи с гуминовыми кислотами угольного вещества.

Таким образом, повышенное содержание натрия и хлора в углях северной окраины Донецкого бассейна авторы, допуская в принципе возможность их эпигенетического засоления, связывают с особенностями палеогеографической обстановки торфонакопления, а именно близостью морского бассейна - источника натрия. Однако особенности распределения натрия определяются и последующим метаморфическим воздействием на угольный пласт, в результате которого происходят потери натрия в хлоридной и гуматной формах из-за потери поровых вод и преобразования молекулярной структуры угольного вещества.

Предположение Л.Я.Кизильштейна о наличии второго источника поступления натрия и хлора в каменноугольный торфяник изучаемой территории (девонских соленосных пород) - весьма сомнительно и отвергается самими авторами /98/, высказывающими точку зрения о том, что вряд ли возможна миграция рассолов из сольсодержащих девонских толщ, находящихся за несколько сотен километров от района исследования.

В противоположность изложенному мнению, геологи производственных организаций Министерства геологии полагают, что угли в уже сформировавшемся пласте в связи с их повышенной сорбционной способностью поглощают хлориды щелочных металлов из подземных минерализованных вод соответствующего гидрохимического состава, т.е. засоление их происходит в эпигенетическую стадию.

С нашей точки зрения, выводы о засолении углей Северного Донбасса в стадию седиментодиагенеза достаточно убедительны. Они подтверждаются нашими исследованиями.

В Тургайском буроугольном бассейне, представляющем собой синеклизу в теле Туранской палеозойской плиты /61/, угли с повышенным содержанием натрия в золе отмечены на Кушмурунском и Приозерном месторождениях - наиболее крупных и перспективных для разработки открытым способом /26/. Угленосны юрские пролювиально-делювиальные, озерно-болотные и аллювиальные континентальные отложения убаганской серии. Они выполняют депрессии в породах эффузивно-осадочного комплекса пермо-триаса, слагающего борта и ложе месторождений, и перекрываются песчано-глинистыми континентальными и морскими осадками мезо-кайнозоя. В позднемеловое время, после отложения маломощных песчано-глинистых континентальных образований нижнего мела, территория месторождения затоплялась водами трансгрессирующего моря. Грабен-синклинали и грабены, в которых находятся месторождения, ограничены глубинными долгоживущими разломами, осложняющими угленосные отложения сбросами.



Воды, заключенные в юрских угленосных породах, высокоминерализованы с сухим остатком 21 г/л, хлоридно- и сульфатно-натриевого типа. Они гидравлически связаны с водами меловых напластований и образуют общий высоконапорный комплекс.

Угленосные отложения накапливались в условиях молодых межгорных долин при частой смене болотных и озерных режимов, наиболее благоприятные условия для торфообразования создавались в прибортовых участках. На месторождениях наблюдается 12 - 17 промышленных пластов угля суммарной мощностью от 48 (Приозерное месторождение) до 118 м (Кушмурунское месторождение). Мощность пласта "Нижнего мощного" достигает 63 м.

Угли гумусовые, преимущественно клареновые, с повышенной зольностью, малосернистые и среднесернистые. Золы углей по соотношению кислых и основных компонентов являются кислыми (табл. 1). Как видно из приведенных данных, количество $Na_2O$ на сухой уголь достигает 0,7 - 0,8 %. Сведений о содержании в углях хлора нет. Исходя из геологического строения бассейна, можно предположить, что угли обогащались натрием в стадию диагенеза при поступлении солей из вод мелового моря. Другим источником солей могли служить продукты сольфатарной деятельности и выветривающихся вулканических пород, которые, поступая в межгорные долины, осоляли расположенные в них водоемы и торфяники.

В Карагандинском бассейне угли с несколько повышенным содержанием в золе $Na_2O$ зафиксированы на некоторых шахтах и Куучекинском месторождении /25, III/. Бассейн находится в Карагандинской синклинали - составной части крупного одноименного синклинория области палеозойской складчатости, борта и фундамент которого слагают вулканогенно-осадочные образования палеозоя (от кембрия по девон включительно). Продуктивная толща представлена каменноугольными отложениями, нижние горизонты которых слагаются морскими карбонатно-глинистыми осадками, сменяющимися вверх по разрезу мощным комплексом прибрежно-морских, а затем континентальных осадочных и туфогенно-осадочных образований. Они перекрываются континентальными терригенными осадками мезо-кайнозоя.

Гидрогеологические условия угленосных отложений характеризуются наличием хлоридно-сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатно-натриевых и кальциевых вод с минерализацией от 5 - 18 (Карагандинский угленосный район) до 25 г/л (Тентекский район). Основной источник питания водоносных комплексов - низкоминерализованные воды скального обрамления бассейна и аллювиальных отложений, сухой остаток которых обычно не превышает 1, иногда достигая 2 - 3,5 г/л.

Таблица I. Физико-химическая характеристика углей различных бассейнов и месторождений СССР

| Показатель | Тургайский /III/ | | Карагандинский /III/ | | | | Средняя Азия /III/ | Северо-Вос | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Кушмурунское | Приозерное | Шахта "Северная" | Шахта "Западная" | Шахта "Степная" | Кууче-кинское | Ангренское | Аркагалинское (разрез Тал-Юрях) | Верхнеаркагалинское |
| | | | | | | | | | Технический |
| $W^a$, % | 37,0 | 36,0 | 7,5 | 6,7 | 8,5 | 7,0 | 34,5 | I9,0 | 20,0 |
| $W^g$, % | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| $A^c$, % | I8,0 | I8,0 | 34,7 | 35,5 | 22,5 | 44,0 | 22,0 | I5,0 | I3,0 |
| $S^c_{общ}$, % | 2,5 | 0,8 | 0,7 | I,2 | 0,6 | 0,8 | 2,0 | 0,3 | 0,4 |
| $V^r$, % | 48,5 | 48,2 | 26,3 | 27,5 | 3I,0 | 2I,0 | 33,5 | 4I,0 | 40,0 |
| $Q^a_н$, мДж/кг | I3,I | I3,2 | I9,7 | I9,8 | 23,7 | I6,6 | I3,4 | I9,I | I9,3 |
| | | | | | | | | | Горючая |
| $C^r$, % | 70,7 | 70,4 | 85,3 | 86,0 | 85,I | 84,7 | 76,5 | 74,5 | 75,5 |
| $H^r$, % | 5,I | 5,0 | 5,3 | 5,2 | 5,7 | 5,4 | 3,8 | 5,2 | 4,9 |
| $(O+N)^r$, % | 2I,4 | 20,6 | 8,5 | 7,0 | 8,4 | 8,8 | I7,2 | 20,0 | I9,I |
| $S^r$, % | 2,8 | I,0 | 0,9 | I,8 | 0,8 | I,I | 2,5 | 0,3 | 0,5 |
| $Q^r_s$, мДж/кг | 28,7 | 28,I | 34,2 | 34,6 | 35,I | 33,9 | 29,I | 29,7 | 29,7 |
| $Q^r_н$, мДж/кг | 27,3 | 26,8 | 32,9 | 33,2 | 33,7 | 32,2 | 28,0 | 28,5 | 28,5 |
| | | | | | | | | | Химический состав золы на |
| $SiO_2$ | 55,5 | 46,0 | 52,7 | 58,8 | 57,6 | 63,7 | 32,5 | 59,I | 52,7 |
| $Al_2O_3$ | 2I,5 | 22,7 | 25,6 | 24,I | 24,5 | 24,7 | 2I,5 | I9,0 | 2I,I |
| $Fe_2O_3$ | 6,0 | 5,0 | 4,7 | 5,9 | 7,I | 5,8 | I4,9 | 7,I | 9,3 |
| $CaO$ | 7,5 | I4,I | 8,6 | 4,7 | 3,3 | I,4 | 24,3 | 5,3 | 6,2 |
| $MgO$ | 2,5 | 3,3 | I,I | I,0 | I,I | 0,8 | 3,6 | 2,4 | 2,2 |
| $K_2O$ | 0,5 | 0,5 | 3,3 | 2,5 | 2,6 | 0,6 | 3,2 | 0,6 | I,3 |
| $Na_2O$ | 4,0 | 4,7 | 3,0 | 2,2 | 3,I | 2,3 | – | 5,2 | 4,9 |
| $TiO_2$ | I,5 | 2,8 | I,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | – | 0,4 | 0,8 |
| | | | | | | | | | Плавкость |
| $t_1$ | II70 | I200 | I235 | I200 | I280 | I280 | II60 | II20 | II50 |
| $t_2$ | I230 | I280 | I300 | I500 | I485 | >I500 | I300 | I220 | I240 |
| $t_3$ | I320 | I350 | I325 | I520 | I520 | >I500 | I320 | I360 | I3I0 |
| | | | | | | | | | Начало нормального жид |
| $t$ н.ж. | I540 | I420 | I650 | I520 | I550 | I5I0 | I350 | I650 | I480 |

* – в пересчете на $Na_2O$.

| ток СССР /III/ | | Угловский | | | | | | о.Сахалин /III/ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Эльгенская площадь | Анадырское | Артемовское /III/ | | Тавричанское /III/ | Майхинское /23/ | | Супутинское /23/ | Шахта "Горнозаводская" |
| | | Шахта "Дальневосточная" | Шахта "Амурская" | | Угловская свита | Майтунская свита | | |
| анализ | | | | | | | | |
| 43 | 22,0 | 24,3 | 22,8 | I4,0 | – | – | 27-36 | 28,0 |
| – | – | – | – | – | I3,I | 9,3 | 5-2I | – |
| 35 | I7,0 | I8,0 | 29,7 | 23,5 | II,2 | I7,5 | I9-40 | I2,0 |
| I,6 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,2-I,I | 0,5 |
| 58 | 47,0 | 50,0 | 5I,0 | 48,0 | 49,I | 52,2 | – | 46,0 |
| – | I7,9 | I6,6 | I4,3 | I8,6 | – | – | II,I-I3,0 | I8,9 |
| масса | | | | | | | | |
| 66,8 | 74,0 | 72,I | 70,0 | 74,0 | – | – | 67-70 | 72,5 |
| 5,8 | 5,7 | 5,5 | 5,9 | 5,7 | – | – | 4-6 | 5,6 |
| 27,I | I9,3 | 22,0 | 23,4 | I9,8 | – | – | 24-28 | 2I,4 |
| – | I,0 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | – | – | – | 0,5 |
| 26,4 | 29,9 | 29,I | 28,8 | 30,I | 28,7 | 30,0 | 24,6-32,6 | 30,I |
| – | 28,6 | 27,8 | 27,4 | 28,8 | – | – | – | 28,8 |
| бессульфатную массу, % | | | | | | | | |
| 50,0 | 5I,0 | 47,8 | 60,4 | 53,0 | I9,8-66,8 | | 55,2-6I,4 | 48,2 |
| 30,6 | 33,0 | 26,I | 4,6 | 30,0 | I7,7-29,2 | | 22,I-29,6 | 27,9 |
| I5,3 | 5,0 | 8,7 | 23,9 | 6,5 | 2,7-I2,4 | | 4,6-7,2 | 7,9 |
| 6,I | 5,8 | 7,9 | I,6 | 2,0 | 2,0-30,I | | 2,2-5,8 | 7,5 |
| 0,8 | 0,5 | I,6 | I,2 | I,5 | 2,6-II,0 | | 0,7-2,2 | 3,I |
| I,2 | 0,7 | 2,7 | 4,I | 4,0 | 2,6-9,I | | I7,7-27,7* | I,5 |
| 2,6 | 2,5 | 4,3 | 3,7 | 2,5 | | | | 3,I |
| I,I | I,5 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | – | | 0,3 | 0,8 |
| золы, °С | | | | | | | | |
| I045-I090 | I200 | I080 | I400 | I200 | – | | – | II70 |
| II00-II35 | >I500 | II80 | I480 | I400 | – | | – | II90 |
| II85-I270 | >I500 | I200 | >I500 | I450 | – | | – | I2I0 |
| кого шлакоудаления, °С | | | | | | | | |
| – | I550 | – | – | – | – | | – | – |

В Карагандинском угленосном районе (шахты "Западная","Северная", месторождение Куучекинское) продуктивны нижнекаменноугольные отложения карагандинской свиты, образовавшиеся в условиях паралического бассейна. В свите содержится до 19 рабочих пластов углей средней мощностью 1,5 м.

В Тентекском районе угленосны среднекаменноугольные образования долинской свиты, которые накапливались в континентальных условиях, в обстановке озерных, речных и сухих равнин. Свита содержит 11 пластов средней мощностью 1,4 м.

Угли гумусовые, среди них преобладают кларено-дюрены (в карагандинской свите) и дюрено-кларены (в долинской), коксовые, в основном высокозольные и малосернистые. Зола углей содержит большое количество оксидов кремния и алюминия и характеризуется кислым составом (см. табл. 1). В золе углей как карагандинской, так и долинской свит количество $Na_2O$ превышает 2 %. Данных о содержании в углях хлора нет.

Источником натрия в углях карагандинской свиты могли быть морские воды, неоднократно затапливающие площади торфонакопления. В долинское время в связи с интенсивным вулканизмом натрий в торфяники мог поступать с продуктами вулканической деятельности. Благоприятные условия, ведущие к интенсивному испарению воды и осолонению водных бассейнов, создавались благодаря периодической аридизации климата.

Канско-Ачинский бассейн, входящий в состав Канско-Ачинско-Иркутско-Улухемской угленосной провинции мезозойского угленакопления, объединяет месторождения юрского возраста, которые находятся в южной предгорной части Западно-Сибирской низменности, в зоне сопряжения Сибирской платформы и обрамляющих ее каледонских складчатых сооружений. Фундамент бассейна слагают сильно дислоцированные и метаморфизованные допалеозойские и частично палеозойские образования, перекрытые эффузивно-осадочными отложениями палеозоя. Угленосные песчано-глинистые породы нижней и средней юры выполняют юрские впадины и прогибы, образовавшиеся в мезозое на фоне сформировавшихся более крупных палеозойских предгорных и межгорных впадин [12, 13, 21, 30].

Подземные воды, заключенные в угленосной толще, слабоминерализованы (0,1 - 1,0 г/л), гидрокарбонатно-кальциевого и гидрокарбонатно-натриевого составов. Основной источник их питания - атмосферные осадки, инфильтрующиеся на участках развития этих пород, и воды, скапливающиеся в складчатых обрамлениях [30].

Торфонакопление происходило в континентальных условиях в обширных низинных лесных болотах [12, 21, 30].



С точки зрения обогащения углей натрием наибольший интерес представляют месторождения Березовское и Барандатское, расположенные в Березовской и Барандатской мульдах. Основная промышленная угленосность месторождений связана с отложениями итатской свиты. На Березовском месторождении к ней приурочен пласт "Березовский" мощностью 15 - 70 м (в среднем 40 м), на Барандатском - пласт "Итатский" мощностью до 100 м (обычно 65 - 66 м).

Угли месторождений преимущественно гумусовые, в основном дюрено-кларены (Березовское месторождение) и кларено-дюрены (Барандатское), малосернистые (0,3 %), с выходом летучих 48 %, низшей теплотой сгорания рабочей массы 14,8 - 15,7, в условной горючей массе - 26,5 - 26,9 мДж/кг [13]. Для месторождений характерно наличие большого количества угля с низкой зольностью (4 - 5, в среднем 7 %). Наименьшую зольность имеют угли наиболее мощных пластов, в прикровельной и припочвенной частях пластов она повышается. Относительно малозольные угли характеризуются повышенным содержанием кальция и магния [13]. Количество $CaO$ в минеральной составляющей малозольных углей Березовского и Барандатского месторождений достигает 60 - 70%, причем кальций связан с их органической массой. Повышение зольности сопровождается увеличением содержания в золе оксида кремния [11]. Состав золы изменяется с глубиной, с увеличением которой снижается содержание $CaO$ и повышается количество оксидов кремния, алюминия и щелочных металлов. Если на глубине 35 - 40 (до 100 м) содержание $Na_2O$ и $K_2O$ в сумме составляет около 2, то на глубине 300 м оно достигает 10 - 12 %. Причем натрий и калий входят в состав органической массы угля в виде гуматов [67].

Обогащение натрием и калием могло произойти в результате привноса в торфяник продуктов магматической деятельности, активно проявляющейся на Сибирской платформе в юрское время [61], отчасти при поступлении щелочных металлов из выветривающихся вулканических пород палеозоя. Более высокое содержание гуматов натрия и калия в нижних горизонтах может быть связано с тем, что они обогащались подпитыванием со стороны фундамента гидротермами и фумаролами. Изучение процессов взаимодействия гумусовых веществ почвы с ее минеральной частью показали, что наиболее интенсивно почвы насыщаются гуматом натрия при их капиллярном насыщении (особенно в нижней части колонки) и наименее - при сквозном просачивании через почву [2].

В Средней Азии повышенное содержание натрия в золе углей отмечено на Ангренском буроугольном месторождении Приташкентского района Арало-Ташкентской области угленакопления [22]. В структурном отношении оно приурочено к предгорной впадине, расположенной в области гер-

цинской складчатости Южного Тянь-Шаня /61/. Угленосные отложения нижнеюрского возраста залегают в трех мульдах-палеодолинах, сливаясь на юге в одно поле сплошного развития угленосной свиты, представленной песчано-глинистыми образованиями. Они залегают на верхнепалеозойской вулканогенной серии и перекрываются мезозойскими с признаками вулканизма и кайнозойскими отложениями морского и континентального генезиса. Месторождение слабо обводнено, подземные воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией 0,1 - 0,8 г/л.

Продуктивные отложения накапливались в условиях аллювиальных равнин, местами озерных бассейнов. Основная угленосность связана с двумя комплексами: нижним, содержащим пласт мощностью до 40 - 50 м, и верхним, сложенным шестью - восемью пластами угля мощностью 1,5 - 2,5 м, разделенными прослоями песчано-глинистых пород. Угли месторождения, как правило, гумусовые, с непостоянной зольностью и сернистостью (см. табл. 1). Золы в среднем имеют кислый состав. Содержание щелочных компонентов в них составляет 0,5 - 5,4 %. В органическое вещество они могли поступить в стадию торфяника из морской воды и с продуктами поствулканической деятельности.

На Северо-Востоке, представляющем собой область мезозойской складчатости, месторождения углей с повышенным содержанием натрия в золе развиты в пределах Аркагалинской, Эльгенской, Анадырской угленосных площадях и других районах /19/.

На Аркагалинской угленосной площади продуктивны верхнемеловые-палеогеновые песчано-глинистые отложения с пластами основных эффузивов, слагающие асимметричную синклинальную складку. Они подстилаются вулканогенно-осадочными породами триаса-юры морского генезиса и перекрываются четвертичными образованиями. Заключенные в угленосных отложениях воды сульфатно-натриевые солоноватые или гидрокарбонатно-натриевые пресные и слабосолоноватые.

Угленосные образования континентального генезиса имеют озерно-болотный, отчасти речной характер. В продуктивной толще установлено 10 - 12 пластов, линзообразных залежей и пропластков угля мощностью 0,9 - 10,2 м. Угли гумусовые, клареновые и дюрено-клареновые, длиннопламенные, с повышенным содержанием влаги, преимущественно мало- и среднезольные, малосернистые (см. табл. 1). В золе преобладают оксиды кремния и алюминия. Содержание оксида натрия в ней составляет 4,9 - 5,2 % (0,6 - 0,8 % на сухой уголь). Сведений о содержании в угле водорастворимых соединений натрия и хлора нет. Основным источником соединений натрия в угле могли быть продукты вулканической деятельности, которая проявлялась в период торфонакопления, и подвергавшиеся выветриванию вулканогенно-осадочные породы, подстилающие угленосные отложения. Поступающие при этом химические элементы значительно осолоняли внутренние водоемы.



На Эльгенской угленосной площади повышенное содержание натрия отмечается в золе углей одноименного буроугольного месторождения. Угленосные отложения, представленные терригенными осадками эльгенской свиты миоценового возраста, выполняют Сеймчано-Буюндинский внутриконтинентальный межгорный прогиб, ложе и борта которого сложены вулканогенно-осадочными породами мезозоя. Гидрогеологические условия продуктивной толщи характеризуются наличием подмерзлотных пластово-трещинных вод гидрокарбонатно-хлоридно-натриево-магниевого состава с минерализацией 0,9 - 2,7 г/л.

Торфонакопление происходило в озерно-болотных, прирусловых и дельтовых условиях. В угленосной толще содержится 4 - 15 пластов угля рабочей мощности. Угли гумусовые, бурые, с высокой влажностью и зольностью (см. табл. 1). Золы углей по составу кислые, содержание оксида натрия в них составляет 1,6 - 5,0 %. Хлор и водорастворимые соединения натрия в углях не определялись. Можно предположить, что наиболее благоприятные условия для обогащения натрием создавались при торфонакоплении за счет продуктов поствулканической деятельности (гидротермальной и фумарольной), а также поступления щелочных элементов из выветривающихся вулканических пород.

На Анадырской угленосной площади повышенное содержание натрия в золе углей отмечено на одноименном месторождении, в геологическом строении которого принимают участие образования верхнего мела, палеогена, неогена и четвертичного периода. Угленосные отложения палеогена представлены в нижней и средней частях туфогенно-осадочными и осадочными песчано-глинистыми образованиями, а в верхней - морскими песчано-глинистыми осадками, перекрытыми базальтами и их туфами. Месторождение характеризуется высоконапорными подмерзлотными водами с высокой минерализацией (до 24 - 80 г/л), хлоридно-натриево-кальциевого состава.

Благоприятная обстановка для торфообразования создавалась на прибрежных равнинах островного бассейна во время морских регрессий, в условиях обводненных травянистых болот. Угленосные отложения содержат до 28 угольных пластов, из них 12 рабочих со средней мощностью до 2 - 5,8 м. Угли гумусовые, преобладают клареновые, по степени углефикации бурые, переходящие в нижних горизонтах в каменные. Они характеризуются повышенной зольностью, а также малой сернистостью. Зола кислого состава (см. табл. 1). По данным Ю.Н.Пензина /77/, в ней содержится от 2,1 (шахта "Анадырская") до 3,4 % (участок Шахтерский)

$Na_2O$. Данных о содержании в угле водорастворимых соединений натрия нет. Источником натрия в угле могли быть морская вода и продукты вулканической деятельности.

Кроме того, в северо-восточных районах страны повышенное содержание натрия наблюдается в золе углей Ланковского буроугольного месторождения неогенового возраста Охотской угленосной площади (2,2 %), Харанга-Улахского месторождения мелового возраста Зырянского каменноугольного бассейна (2,3 %) /77/. Койнатхунского месторождения лигнитовых углей (9,4 %) /III/. Специальные исследования углей Ланковского месторождения показали полное отсутствие в них хлора /77/, на остальных месторождениях такие исследования не проводились. Источником натрия на указанных площадях могли служить морская вода (Зырянский бассейн) и продукты вулканической и поствулканической деятельности (Зырянский бассейн и Охотская угленосная площадь).

К области мезозойской складчатости Северо-Востока (Верхоянско-Чукотская складчатая область) примыкает Тиксинский буроугольный район /24/. В геологическом строении его принимают участие палеозойские и мезозойские образования, на которых несогласно залегают песчано-глинистые угленосные отложения, возраст которых точно не установлен (палеоген - неоген). Продуктивная толща собрана в пологие складки, в ней широко развиты нарушения с небольшой амплитудой. Месторождения района находятся в условиях многолетней мерзлоты.

Повышенное содержание щелочных металлов отмечено на Согинском месторождении, угленосные отложения которого содержат два пласта угля мощностью 14 - 20 и 2 - 5 м. Угли клареновые с большим количеством фюзена, малосернистые, с пониженной зольностью, содержанием летучих 45 - 48 %, углерода 70 - 71 % и теплотой сгорания горючей массы 28 мДж/кг. Зола углей верхнего пласта содержит незначительное количество оксидов кремния (5,6 %), 39 % - алюминия и железа, характеризуется высоким содержанием оксидов кальция (33 %) и щелочных металлов, суммарное количество которых по разности составляет 14,9 %. Источником щелочных компонентов могли служить продукты вулканической деятельности, которая активно проявлялась в Верхоянской геосинклинали в период торфонакопления /61/.

В Приморском крае угли с повышенным содержанием натрия в золе выявлены на месторождениях Угловского буроугольного бассейна, расположенного в Сихотэ-Алинской складчатой области /23, 53/. Бассейн приурочен к синклинали, сложенной песчано-глинистыми с постоянной примесью вулканического пепла отложениями палеогена (верхний эоцен - нижний олигоцен). Продуктивная толща, осложненная многочисленными разрывными нарушениями, залегает на размытой поверхности вулканогенно-осадочных пород палеозоя-мезозоя континентального и морского генезиса и перекрывается туфогенно-осадочными образованиями неогена. Она содержит гидрокарбонатно-натриево-кальциевые, реже хлоридно-натриевые воды с невысокой минерализацией (0,1 - 1,2 г/л).



Угленосные отложения накапливались на покрытой лагунами и озерами прибрежной равнине, заливавшейся морем /3/. Продуктивны угловская (Артемовское, Тавричанское, Майхинское месторождения), супутинская (аналог угловской на Супутинском месторождении) и майтунская свиты (Майхинское месторождение). Количество рабочих пластов достигает 8 - 10, мощность их изменяется от 1 - 1,5 до 22,6 м. Угли гумусовые, клареновые, однородные; по степени углефикации бурые, на Тавричанском месторождении - переходные к каменным, с повышенной и высокой зольностью, малосернистые (см. табл. 1). Зола характеризуется, как правило, кислым составом и значительным количеством оксида натрия, содержание которого на Артемовском месторождении составляет 1,1 - 13,3, Тавричанском - 1,2 - 4,5 % /23, 53/. По Майхинскому и Супутинскому месторождениям есть данные о суммарном содержании оксидов щелочных металлов, которое на Супутинском месторождении достигает 27,7 % в пересчете на $Na_2O$. Сведений о содержании водорастворимых соединений натрия и хлора нет. Высокое количество натрия в углях может быть связано с привносом в формирующийся торфяник щелочных элементов за счет вулканического материала и морской воды.

Повышенное содержание $Na_2O$ в золах углей отмечается на Горнозаводском и Лопатинском месторождениях Южного угленосного района Сахалинского угольного бассейна /23/. На Горнозаводском месторождении угленосны терригенные отложения верхнедуйской свиты (средний миоцен), залегающей на вулканогенно-осадочных образованиях верхнего мела - палеогена. Месторождение характеризуется гидрокарбонатно-натриевыми, местами хлоридно-кальциевыми водами с минерализацией 1,0 - 1,5 г/л. Угленосные отложения образовались на низменной аккумулятивной прибрежной равнине, временами заливаемой морем /3/. Они содержат пять угольных пластов, из них четыре рабочих со средней мощностью 1,5 м. Угли гумусовые, бурые (см. табл. 1).

На Лопатинском месторождении угленосны песчано-глинистые континентально-лагунные отложения нижнедуйской свиты палеогена, содержащей до 70 пластов и пропластков угля. Угли длиннопламенные, средне- и высокозольные, малосернистые, с содержанием летучих веществ 44 - 48 % и теплотой сгорания горючей массы 30,2 - 33,5 мДж/кг. В их золе содержится до 2,7 % $Na_2O$. Сведений о содержании в углях водорастворимых соединений натрия нет.

Поступление натрия на этих месторождениях могло произойти в стадию торфяника, источниками его могли быть морская вода и продукты вулканической деятельности.

## Общие представления о генезисе соленых углей

На современном уровне изученности угольных месторождений и бассейнов можно выделить следующие геологические обстановки накопления углей, обогащенных водорастворимыми солями.

Солеными оказываются угли паралических бассейнов, угленосные отложения которых образовались в прибрежно-морских и лагунных условиях седиментации. Среди них бассейны: каменноугольного угленакопления – Иллинойский (США), Южно-Уэльский, Йоркшир и др. (Великобритании), Рурский (ФРГ), Остравско-Карвинский угольный район (остравская толща, ЧССР), Донецкий и Карагандинский (карагандинская свита, СССР); мелового – палеогенового угленакопления – некоторые месторождения США; преимущественно палеоген-неогенового угленакопления – бассейны Южной угленосной провинции США, Латроб-Велли Австралии, Нижнерейнский угленосный район ФРГ, Угловский бассейн Советского Союза, Анадырская угленосная площадь, Южный угленосный район Сахалинского угольного бассейна и др.

Соленые угли выявлены на месторождениях, расположенных в районах развития галогенных пород. Это месторождения палеоген-неогенового возраста США, ГДР, ПНР, где накопление торфяников происходило под химическим воздействием разрушающихся соленосных отложений.

Повышенное содержание натрия в золе углей обнаружено на месторождениях, сформировавшихся в период проявления интенсивной вулканической деятельности, продукты которой могли служить основным (долинская свита Карагандинского бассейна, Аркагалинская и Эльгенская площади Северо-Востока Советского Союза) или дополнительным (бассейны Великобритании, Анадырская угленосная площадь, Приморский край) источником поступления щелочных элементов в торфяники.

Повышенное содержание натрия, иногда калия в золе углей отмечено на месторождениях, образовавшихся в областях проявления поствулканической (сольфатарной) деятельности и разрушения богатых щелочными металлами магматических пород. Среди них месторождения Польши, Тургайского, Карагандинского и Канско-Ачинского бассейнов, Средней Азии и Северно-Востока. Засолению торфяников мог содействовать аридный климат, ведущий к интенсивному испарению воды и осолонению водоемов (Карагандинский бассейн в долинское время, Ангренское месторождение в юрское время).

Исследователи, изучающие месторождения соленых углей, расходятся



в оценке времени и условий засолонения угольного вещества. Те из них, кто придерживается гипотезы эпигенетического засоления, полагают, что оно возможно после превращения торфа в уголь за счет химических элементов высокоминерализованных подземных вод, являющихся по происхождению седиментационными или рассолами выщелачивания.

Отметим, что угленосные толщи, заключающие угли с повышенным содержанием натрия, характеризуются различными гидрогеологическими условиями, в частности они далеко не всегда содержат высокоминерализованные воды. Например, месторождения Северо-Востока (Аркагалинская и Эльгенская угленосные площади), Дальнего Востока (Угловский бассейн), Канско-Ачинского бассейна (Березовское и Барандатское месторождения), Средней Азии (Ангренское месторождение), Сахалина (Горнозаводское, Лопатинское месторождения). Возникает вопрос, что же в таких случаях могло послужить источником обогащения углей натрием в эпигенетическую стадию?

В связи с этим прежде всего следует установить, в какую стадию углеобразования, с точки зрения физико-химических свойств органического вещества, наиболее вероятно его засоление.

По существующим представлениям, в стадию сингенеза и раннего диагенеза в той или иной степени разложившаяся торфообразующая масса представляет собой коллоидную систему с высоким содержанием воды и способностью адсорбировать из раствора элементы, которые уменьшают поверхностную энергию коллоида. Под влиянием электростатических сил идет ионная адсорбция, сопровождающаяся обменными реакциями [59]. Причем интенсивность поглощения привносимых компонентов после перекрытия торфяника наносами, т.е., по Г.А.Иванову [68], в стадию позднего диагенеза, по-видимому, увеличивается, так как, по данным П.В.Лазебника и др. [60], в этот период торф характеризуется максимальным количеством гуминовых кислот – одной из наиболее активных его частей с точки зрения ионообменных свойств. Обмен происходит за счет водорода функциональных карбоксильных и фенольных гидроксильных групп гумусовых кислот (гуминовых и фульвокислот), который при благоприятных условиях, в частности, высоких pH, может замещаться катионами сильных оснований с образованием гетерополярных солей. Механизм их образования, достаточно полно изученный на примере почв [32], сводится к обратимой обменной реакции между водородом и соответствующими катионами, в частности, натрием:

$$R\begin{matrix} \diagup\ 1COO^-H^+/_n \\ \diagdown\ 1O^-H^+/_m \end{matrix} + 2Na^+ \rightleftharpoons R\begin{matrix} \diagup\ 1COO^-Na^+/_n \\ \diagdown\ 1O^-Na^+/_m \end{matrix} + 2H^+.$$

Причем если в кислой и нейтральной средах в обмене участвует водород в основном карбоксильных групп, то в щелочной среде, которая создается в результате воздействия на торф морской воды, в этих реакциях принимает участие и водород фенольных оксигрупп, вследствие чего емкость поглощения резко увеличивается.

Что же происходит в дальнейшем с торфом по мере его перехода в бурый, а затем каменный уголь? Большинство специалистов рассматривают угли как высокомолекулярные соединения, считая их гетерополиконденсатом /74/ или полимером /47/, но сходятся на том, что при углеобразовании идут реакции поликонденсации и сополимеризации, которые приводят к возникновению новых высококонденсированных твердых продуктов со все более высокой степенью ароматичности и упорядоченности структуры. При этом совершаются процессы деструкции с отщеплением периферических функциональных групп, почти полностью исчезающих на стадии спекающихся углей, и выделения простых веществ (воды, метана, углекислого газа, сероводорода и др.). Если в гумусовых кислотах торфов содержится значительное количество функциональных групп, в том числе фенольных гидроксильных и карбоксильных, являющихся обменными центрами, то уже в бурых углях их количество заметно уменьшается /63/. На безводное вещество содержание карбоксильных групп составляет (в %): в бурых углях I,5 – 9, длиннопламенных 0,5 – I,2; газовых 0 – 0,I; углях более высоких степеней метаморфизма они отсутствуют. Гидроксильных групп содержится (в %): в бурых углях 8,I – I0,2; длиннопламенных I,2 – 8,0; газовых 0,4 – I,2; жирных 0,I; начиная с коксовых они отсутствуют. В результате каменные угли теряют способность сорбировать катионы по ионообменному механизму /93/.

Закономерно изменяются и физические свойства углей. Значения плотности, общей пористости, сорбционных свойств и водопоглощения с увеличением степени углефикации уменьшаются, достигая минимума в области жирных и коксовых углей, а затем возрастают /86, II3/. Плотность углей в ряду метаморфизма вначале увеличивается, потом снижается в области жирных углей, а затем вновь возрастает /36, 58/. Но, несмотря на увеличение ряда параметров, характеризующих пористую структуру высокометаморфизованных углей, адсорбция на их поверхности может происходить лишь за счет сил Ван-дер-Ваальса /42/.

В углях по мере роста степени их метаморфизма уменьшается и доступность пор. Объем микропор (или фольмеровских) диаметром $I0^2$–$I0^3$ нм, а также переходных, включающих, по классификации И.П.Эттингера и И.В.Еремина, кнудсеновские, броуновские и пуазейлевские, диаметром $I0^3$ – $I0^6$ нм изменяется по кривой с минимумом в области углей средних



стадий метаморфизма. Объем макропор диаметром более $I0^6$ нм снижается от бурых углей к антрацитам /36/.

Способность сорбента поглощать то или иное количество ионов зависит от величины пор. При малых размерах пор сорбента в них могут проникнуть лишь ионы с малым радиусом. Установлено, что для извлечения частицы сорбентом диаметр его поры должен быть больше диаметра частицы примерно в 65 раз /94/. Поэтому для ионов натрия и хлора с радиусами соответственно 9,8 и I8,I нм /I04/ (для гидратированных ионов они выше), будут доступны лишь поры диаметром более 2,6 × $\times I0^3$ нм, т.е. переходные, а широко развитые в длиннопламенных углях фольмеровские поры, определяющие их повышенную влагоемкость, им уже будут недоступны.

Итак, с увеличением степени углефикации уменьшаются реакционная способность вещества углей и доступность его пор. Самой высокой способностью к сорбции, наиболее высокими ионообменными свойствами и возможностью контактирования с привносимыми химическими элементами органическое вещество обладает на стадии торфяника, когда создаются особенно благоприятные условия для засоления органического вещества углей при наличии источника поступления соли.

Натрий может поступать в торфообразующую массу как извне, так и из самих растений-торфообразователей. Тем более что при смене континентальных условий на прибрежно-морские, как, например, в паралических бассейнах, растительные торфообразующие ассоциации сменяются формами, более устойчивыми к засолению, а значит, и более обогащенными минеральной составляющей. Это подтверждается как изучением спорово-пыльцевых комплексов угольных пластов /35/, так и наблюдениями над современными торфяниками, образование которых, в зависимости от степени изменения уровня моря по сравнению со степенью торфяной аккумуляции, идет то из несолестойкой, то из более солевыносливой растительности /I06, I49/.

Есть многочисленные данные, свидетельствующие о том, что растения, в частности галофиты, содержат значительное количество натрия, накопившегося в процессе их жизнедеятельности. В работе Л.Я.Кизильштейна и др. /5I/, изучавших соленые угли Северного Донбасса, приведены данные по содержанию натрия в современных мангровых растениях, обитающих в прибрежной зоне моря. Оно достигает I,4I – I,76 %, т.е. соответствует содержанию натрия в наиболее соленых донецких углях. Отсюда делается вывод, что "прибрежно-морские фитоценозы карбона Донецкого бассейна могли накапливать в процессе жизни значительно больше натрия, чем их современные потомки, обитающие во внутриконтинентальной среде" /5I, с. 59/. Однако, исходя из соотношений содержания

натрия и калия в углях, с позиций гипотезы конституционного накопления натрия следует допустить очень большие потери растительными тканями при торфообразовании калия при неизменном содержании натрия, что вряд ли возможно при практически равной подвижности этих элементов. Кроме того, щелочные металлы, если бы они являлись элементами конституционного происхождения, должны были бы, по мнению этих исследователей, относительно равномерно распределяться в микрокомпонентах угольного вещества, чего не наблюдается.

Можно констатировать, что величина поступления натрия из растений-торфообразователей невелика, тем более что в условиях торфяного болота растительная зола, состоящая из растворимых солей, в значительной степени выносится. По данным Я.Э.Юдовича /117/, доля конституционной золы, унаследованной от растений-торфообразователей, обычно не превышает 3–4 %. Большей частью натрий и хлор поступают из внешних источников.

Рассмотрим вопрос о возможности проникновения морской воды в торфяник, что отрицается сторонниками гипотезы эпигенетического засоления углей. В частности, С.Д.Пожидаев /69/ считает, что обогащение органического вещества хлористым натрием из морской воды в сколько-нибудь значительных количествах как в торфяную стадию, так и после трансгрессии моря на площадь торфонакопления исключается. Для подтверждения своей точки зрения он приводит следующие доводы: 1) в процессе торфонакопления через торфогенный слой в направлении водоема постоянно или периодически просачивается пресная вода, которая вымывает то небольшое количество соли, которое может попасть в торфяник при нагонах морской воды во время штормов; 2) основная часть торфяников находится ниже статического уровня грунтовых вод. Поэтому, а также в результате гелификации растительных остатков проникновение в него морских вод становится невозможным; 3) к моменту распространения моря на площадь торфонакопления весь торфяник по этим же причинам делается непроницаемым для морских вод.

Эти представления вряд ли можно считать достаточно обоснованными. Экспериментальные исследования А.Т.Морозова /72/, М.Г.Валяшко и др. /14/ показали, что пресные воды из пористой среды вытесняются солеными вследствие конвективного струйчатого движения вниз до наступления устойчивого состояния, когда жидкость с наибольшей плотностью займет самое низкое положение.

Студнеобразная масса разложившегося органического вещества, по мнению С.Д.Пожидаева, в отличие от пористой среды, непроницаема для поступающих извне растворов. Однако, по данным Ю.В.Баева /6/, скорость фильтрации в торфяной залежи при полном насыщении торфа водой не зависит от степени его разложения.



Кроме того, подпор грунтовых вод морскими не имеет постоянной и неизменной величины. Неизбежные колебания уровня моря (при приливах и отливах, нагонных явлениях) должны были создавать условия, способствующие возникновению градиентов давления, направленных от поверхности в глубь пласта, в связи с чем возникали условия для конвективного движения морской воды и проникновения ее в торфяник. Это должно было сопровождаться сорбцией и ионным обменом.

Но если даже предположить, что инфильтрация морской воды в торфяник вследствие гелификации органического вещества и подпора грунтовых вод морскими была затруднена, не вызывает сомнения возможность проникновения ее в торф под влиянием диффузии, сопровождающейся осмосом и в большей степени проявляющейся при движении вниз, что и происходит при перекрытии торфяников морскими водами. Наиболее интенсивно диффузия происходит в начальный момент существования системы /40/.

Наблюдения над современными торфяными болотами, находящимися в зоне влияния моря /76, 87/, свидетельствуют, что при трансгрессии моря или морских приливах поступающие в болото морские воды свободно мигрируют в торфяной залежи, взаимодействуя с торфяным слоем, в котором, благодаря его аккумулирующим свойствам, накапливается соль. По свидетельству Г.Потонье /83/, "в прежние времена прибегали даже к сжиганию подводного торфа у берегов Северного моря в целях добычи соли". Интересные примеры современного образования соленых торфов при торфонакоплении в прибрежно-морских условиях приведены Л.Я.Кизильштейном и др. /50/. Изучение распространения бора в соленых углях Иллинойского бассейна /123/ показало, что максимальное его количество обнаружено в местах, наиболее доступных проникновению морских вод во время морских приливов и штормов, минимальное – вблизи или внутри областей русловых влияний. О химическом взаимодействии торфа с проникающими в него морскими водами приводят сведения В.П.Бабенко и А.М.Гургенидзе /5/, изучавшие условия образования торфяных месторождений Колхиды и влияние на свойства торфа морских вод. По их данным, в результате этого взаимодействия изменяются, с одной стороны, химический состав и кислотность морской воды, с другой – свойства торфа и химический состав его золы. Значительно повышается pH (до щелочной реакции) торфяных вод; в золе торфа, претерпевшего влияние морских вод по сравнению с торфом, не имеющим с ней контакта, и с торфом из придонных слоев, увеличивается содержание натрия и серы.

Л.Я.Кизильштейн, В.В.Гальчиков и Ю.А.Федоров /50, 93/ на основании изотопных исследований пластовых вод угленосной толщи Северно-

го Донбасса пришли к выводу, что пластовые рассолы имеют седиментационное происхождение и формировались в условиях активного смешения морских и континентальных вод, что характерно для обстановки прибрежно-морского осадконакопления. Изотопный состав поровой воды указывает на ее генетическое единство с пластовыми рассолами. В результате авторы приходят к выводу об их сингенетическом происхождении, считая это обстоятельство подтверждением гипотезы накопления натрия в угольных пластах на стадии торфообразования. Однако такой вывод оспаривается сторонниками гипотезы эпигенетического засоления углей, поскольку, по их мнению, обогащение угольного вещества хлористым патрием могло произойти и за счет высокоминерализованных пластовых вод седиментационного генезиса, но не в торфяную стадию, а после преобразования органического вещества в уголь.

В то же время, по мнению упомянутых выше авторов /98/, возможность существенного концентрирования морской воды в условиях торфонакопления маловероятна, а возникновение рассолов произошло уже в условиях литогенеза в результате преобразования морской воды, захваченной на стадии торфяника, в процессе мембранной фильтрации и радиолиза ее молекул. Таким образом, если для осуществления химического и физического взаимодействия находящихся в растворе элементов с сорбентом необходима высокая их концентрация, обогащение органического вещества за счет морской воды на стадии торфяника вряд ли возможно. Но это условие, по-видимому, излишне. Ибо торфяная масса представляет собой смесь растительных остатков с коллоидами (золями и гелями), которые, как известно /78/, сорбируют ионы при их концентрации, далекой от насыщения. По данным Ф.В.Чухрова /104/, из разбавленного раствора ионы адсорбируются активнее и в адсорбции принимает участие большая часть растворенного вещества, чему способствует гидролиз химических соединений, интенсивнее идущий в разбавленных растворах. Поэтому засоление торфа морской водой, вероятно, возможно при существующей в ней концентрации солей, которая для современного океана достигает 35,5 ‰ (из них 27 ‰ составляет хлористый натрий).

В процессах обессоливания углей первостепенную роль играет метаморфизм. Он сопровождается сокращением в угольном веществе порового пространства и потерей им функциональных групп, через которые осуществляется связь с металлами, т.е. при углефикации идет выделение ранее приобретенных элементов, находящихся в поровых водах и связанных с веществом угля силами физической и химической сорбции. В.Ф.Раздорожный /84/ высказал мнение о включении в структуру угля и прочном закреплении в ней рассеянных элементов, поступивших в вещество угля до его полимеризации. Основываясь на этом, С.Д.Пожидаев полагает, что, поскольку соль в углях находится в сорбированном состоянии, она



поступила в них в эпигенетическую стадию. Однако это не может относиться к щелочным металлам. В частности, последние, являясь катализаторами при ионной полимеризации, не входят в состав образующихся полимеров. Кроме того, гуматы щелочных металлов - легкорастворимые соли.

Таким образом, в процессе метаморфизма, ведущего к выделению поровой воды и преобразованию молекулярной структуры вещества угля с выделением метаморфогенных продуктов, происходят потери натрия в хлоридной и гуматных формах. По мнению Л.Я.Кизильштейна /50/, в первую очередь, за счет выделения поровых вод происходят потери хлоридов; натрий, связанный с гуминовыми кислотами, выносится пропорционально количеству отщепленных функциональных групп. Отсюда вытекает, что в углях, начиная с жирных и коксовых, характеризующихся отсутствием карбоксильных и гидроксильных групп, не будет гуматов натрия. Это подтверждается фактическими данными: гуматы натрия зафиксированы лишь в бурых и переходных углях (месторождения Австралии, США, ПНР, ГДР, СССР - Канско-Ачинский бассейн).

Чтобы определить, какое количество хлорида натрия теряется в процессе метаморфизма, следует воспользоваться расчетом баланса исходного угольного вещества и рассеивающихся при метаморфизме жидких и газообразных продуктов /97/. На основании данных о составе и количестве летучих веществ на разных стадиях метаморфизма и предположив, что поровая вода насыщена хлористым натрием, можно рассчитать примерное количество соли, которое может выделиться из угля с водой при переходе из одной его стадии в другую (табл. 2). Приведенный расчет ориентировочный, но тем не менее дает представление о масштабах процесса обессоливания.

Как видно из табл. 2, при переходе торфа в бурый уголь с водой может выделиться 0,38 %, на пути превращения торфа в каменный - 1,26, а в антрацит - 1,71 % хлорида натрия. Следовательно, при содержании в торфе более высокого количества солей, она не выделится полностью с потерей поровой и метаморфогенной воды даже при достижении углем антрацитовой стадии. Этим можно объяснить наличие солей не только в бурых углях, но и в каменных всех стадий метаморфизма и даже в антрацитах. Примером могут служить угли от газовых до тощих каменноугольных бассейнов Великобритании, от длиннопламенных до антрацитов Остравско-Карвинского бассейна ЧССР, от длиннопламенных до жирных (возможно, до антрацитов) Рурского бассейна ФРГ, жирные и коксовые Иллинойского бассейна США, коксовые Карагандинского бассейна СССР.

В связи с вопросом обессоливания приобретает интерес характер

Таблица 2. Расчет количества хлорида натрия, выделившегося из угля с потерей воды

| Стадия метаморфизма | Температура формирования углей (по И.И.Аммосову), °С | Растворимость NaCl, г/л [80] | Количество выделяемой воды, % на 100 г исходного для данной стадии вещества* | Количество выделяющегося хлорида натрия, % на 100 г сухого вещества |
|---|---|---|---|---|
| Торф - бурый уголь | 90 - 95 | 0,28 | I,35 | 0,38 |
| Бурый уголь - каменный уголь | I20 - I25 | 0,29 | 3,05 | 0,88 |
| Каменный уголь - антрацит | 2I0 | 0,32 | I,4 | 0,45 |

* Рассчитано на основании данных В.А.Успенского [97, табл. 4, с. 98].

изменения физических свойств угля в условиях регионального метаморфизма. По мнению Н.А.Игнатченко [46], проанализировавшего и обобщившего материал по данной проблеме, в период погружения до максимальных глубин в обстановке всестороннего давления угли газовые и более высокой степени углефикации находятся в пластическом состоянии, не имеют открытой поровой системы, или она развита очень ограниченно. Летучие продукты метаморфизма, жидкие или газообразные, растворены в практически непроницаемом веществе угля. Лишь при выведении углей в зоны более низких температур и давлений, где они приобретают стеклоподобную структуру и современные вязкоупругие свойства, в них образуются открытые поры и выделяются продукты метаморфизма, в массовом количестве - за сравнительно короткий промежуток геологического времени, в начале или середине инверсии. Оставшиеся в угле продукты удерживаются силами сорбции и отчасти заключены в закрытых порах. Дальнейшее ее выделение связано с последующим тектоническим режимом конкретной территории. Таким образом, обессоливание углей и степень этого обессоливания контролируются тектоническими факторами, изменяющими пористость, трещиноватость, проницаемость и молекулярно-ситовые свойства углей.

Важное значение имеют и гидрогеологические условия, определяющиеся геотектоническими и литологическими факторами. В обстановке открытых гидрогеологических структур обеспечивается вынос выделяющихся из углей продуктов, что затруднено в условиях застойного режима.



В определенной гидродинамической и геохимической среде возможно переотложение солей с их кристаллизацией в крупных пустотах и трещинах, как, например, в Руроком бассейне. Причем при достижении раствором соответствующей концентрации кубические кристаллы галита могут образоваться лишь в крупных пустотах, эндо- и экзотрещинах, так как длина ребра его элементарного блока, состав которого отвечает формуле вещества, достигает, по данным [104], $8 \cdot 10^2$ - $14 \cdot 10^2$ нм.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЕНЫХ УГЛЕЙ В ЗАПАДНОМ ДОНБАССЕ

### Геологическое строение и угленосность

Геологическое строение Западного Донбасса и фациальные условия накопления осадков продуктивных отложений достаточно полно изучены /20, 38, 99, 107, 108 и др./.

Особенности геологического строения данной территории определяются приуроченностью ее к юго-западному склону Днепровско-Донецкой впадины, сложенному породами двух структурных этажей, нижний из которых представлен образованиями докембрия, верхний – комплексом осадочных отложений фанерозоя.

Кристаллические породы (граниты, гранодиориты, гнейсы и мигматиты) залегают на Новомосковском месторождении на глубине от 102 – 236 на юге до 2 000 – 2 100 м на севере.

Девонские отложения, к которым условно отнесены аркозовые песчаники мощностью до 7–8 м, развиты ограниченно в южной части района и на смежной с востока площади.

Выше с перерывом залегают каменноугольные образования нижнего и среднего отделов общей мощностью до 1 500 м в Новомосковском районе, возрастающей в восточном направлении до 2 700 – 3 000 м (Петропавловский угленосный район). Толща карбона характеризуется циклическим строением, которое проявляется в многократном чередовании в разрезе и по площади отложений разного литологического и гранулометрического состава и генезиса. Цикличность угленосных отложений нижнего карбона Западного Донбасса изучали А.П.Феофилова, М.Л.Левенштейн /99/ и В.Ф.Шульга /108/. Последний выделил в самарской свите циклы второго – четвертого порядков трансгрессивного, регрессивного и однородного типов, которые образовались вследствие периодичности осадконакопления. Автор настоящей работы, как и В.С.Попов /82/, склонен объяснять эту периодичность неравномерным тектоническим режимом опускания области



накопления и подъема области сноса, а также сезонно-климатическими изменениями.

Нижний отдел представлен турнейским ($C_1^t$), визейским ($C_1^v$) и серпуховским ($C_1^s$) ярусами, соответствующими свитам $C_1^1$ - $C_1^4$ Донбасса (синонимика пластов известняков, углей и схема расчленения на свиты приняты с некоторыми коррективами по монографии /20/, границы стратиграфических подразделений даны по Д.Е.Айзенвергу /1/). Литологически он делится на две толщи: нижнюю карбонатную и верхнюю терригенную с подчиненными пластами углей и известняков. Карбонатные турнейско-нижневизейские отложения свиты $C_1^1$ распространены на площади ограниченно. Верхневизейские и серпуховские терригенные угленосные породы делятся на три свиты. Подугленосная свита $C_1^2$ (В) верхневизейского подъяруса, нижняя граница которой проводится по смене карбонатных отложений терригенными, а верхняя – по подошве известняка $C_{1_1}$, представлена в основном песчано-алевритовыми отложениями. Она содержит до 20 угольных прослоев небольшой мощности и невыдержанных по площади. Исключение составляет пласт $b_1$, мощность которого в крайней южной части Новомосковского района достигает 0,6 – 1 м. В.Ф.Шульга /108/ относит карбонатную толщу к нижней слабоугленосной подформации, которая формировалась на территории Петриковского, Новомосковского и Павлоградского районов в основном в условиях прибрежного моря и заболоченных приморских низменностей, частично – к низам средней высокоугленосной подформации, осадки которой накапливались в условиях заболоченных приморских низменностей, лагун и мелкого прибрежного моря.

Наибольший интерес представляет угленосная самарская свита $C_1^3$ (С) нижнесерпуховского подъяруса, залегающая на глубине от 100 на юге до 1500 м и более на севере района, характеризующаяся высокой промышленной угленосностью. Верхняя граница свиты проводится по подошве известняка $D_1$. Мощность ее в Новомосковском районе изменяется от нескольких десятков метров на юге до 475 м на северо-востоке территории. Она сложена преимущественно аргиллитами, алевролитами и песчаниками с многочисленными прослоями углей и лишь в верхней части представлена аргиллитами с прослоями известняков.

В интервале между известняками $C_1$ и $C_5$ заключено 32 – 46 пластов и прослоев угля, из которых 12 имеют промышленное значение ($C_1$, $C_{4^1}$, $C_5^1$, $C_8$, $C_8^{18+2}$, $C_7^4$, $C_8^1$, $C_9$, $C_{10}$, $C_{11}$, $C_{12}$, $C_{17}$). Наиболее полно продуктивная часть свиты представлена в центральной части Новомосковского месторождения, а на юге и юго-востоке она частично или полностью размыта. Мощность пластов составляет 0,6 – 1,9, чаще 0,8 – 1 м, достигая на участках их слияния на юге и юго-западе месторождения

2,5 – 3 м. Строение пластов обычно простое, редко сложное. По направлению к северу и северо-востоку мощность некоторых пластов уменьшается и они расщепляются, что вызвано замещением в этом направлении лагунных и прибрежно-морских отложений морскими. Основную часть свиты В.Ф.Шульга отнес к средней высокоугленосной подформации. Нижняя часть подформации от известняка $B_{10}$ до угольного пласта $c_7$ формировалась в условиях заболоченной приморской низменности, лагун и мелкого прибрежного моря. На территории Петриковского и Новомосковского районов в разрезе свиты значительно распространены глинисто-углистые осадки болот и торфяных болот (25 – 40 %), мелких лагун (25 – 35 %), глинисто-алевритовые образования прибрежного моря развиты ограниченно (15 – 20 %).

Территория Павлоградско-Петропавловского района находится в зоне, характеризующейся уменьшением содержания глинисто-алевритовых и углистых осадков болот до 10 – 20 %, увеличением отложений лагун (30 – 40 %) и мелкого моря (20 – 30 %). По сравнению с нижней подформацией в интервале разреза $B_{10}$ - $c_7$ более широко распространены песчано-алевритовые осадки подводных выносов рек.

Разрез верхней части подформации (от угольного пласта $c_7$ до известняка $C_5$ ) свидетельствует о накоплении осадков в сходных фациальных условиях, хотя заметно сокращаются дельтовые отложения.

В северо-восточном направлении в разрезе обоих подформаций закономерно уменьшается мощность континентальных отложений и увеличивается морских. Соответственно сокращается угленосность.

Верхняя часть самарской свиты и залегающая выше свита $C_1^4(D)$ отнесены В.Ф.Шульгой к верхней слабоугленосной подформации, сложенной морскими фациями. Верхняя граница свиты $C_1^4$ проводится по подошве известняка $C_1$. Она относится к верхам нижнесерпуховского и верхнесерпуховскому подъярусу и представлена песчано-глинистыми породами с редкими прослоями известняков и углей. В отложениях свиты в крайней северо-восточной части Новомосковского месторождения наблюдаются два линзовидных угольных прослоя ( $d_1$ и $d_3$ ).

В конце серпуховского времени, соответствующего накоплению верхней слабоугленосной болотно-морской подформации, в результате частой смены условий осадконакопления от болотных к морским глубоководным процесс углеобразования проявлялся менее интенсивно.

Среднекаменноугольные отложения представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами с тонкими прослоями известняков и углей. В юго-восточной части месторождения породы среднего карбона размыты, в северо-западном направлении мощность их увеличивается до 675 м.



В них наблюдается до 40 угольных пластов и пропластков обычно с небольшой площадью распространения.

В свите $C_2^0$ редко отмечаются линзовидные прослои угля $e_5$ и $e_6$, а в верхней части разреза прослеживаются пласты $e_8$ и $e_9$, мощность которых на небольших площадях достигает 1 м. Угольные пласты $f_1$ (свита $C_2^1$ ), $g_1^{3+4}$ (свита $C_2^2$ ) и $h_5$ (свита $C_2^3$ ) имеют в северо-западной части месторождения рабочую мощность. Свита $C_2^4$ характеризуется песчано-глинистым составом пород с включением маломощных пластов углей и известняков. Отложения выше свиты $C_2^4$ на Новомосковском месторождении не установлены. Глубина залегания угольных пластов среднекаменноугольных отложений составляет 200 – 1 000 м.

Процесс осадконакопления в среднекаменноугольную эпоху происходил в условиях прибрежно-лагунной зоны. Кровля угольных пластов обычно представлена типично морскими фациями – аргиллитами с морской фауной или органогенными известняками.

На размытой поверхности карбона залегают осадки перми и триаса. К пермским отложениям относится немая толща пестроцветных песчано-глинистых пород мощностью до 130 м, развитых в средней и северной частях месторождения. Некоторые геологи (М.Л.Левенштейн и др.) считают, что эти отложения принадлежат дроновской свите, которая раньше относилась к верхней перми, а в настоящее время – к нижнему триасу.

Континентальные песчано-глинистые отложения триаса развиты повсеместно, за исключением крайнего юга района. Они несогласно залегают на пермских образованиях в северной части и на разновозрастных каменноугольных отложениях в южной и характеризуются общим пологим погружением кровли в северном направлении, достигая мощности 223 м.

Юрские континентальные отложения, трансгрессивно залегающие на породах триаса, распространены в средней и северной частях месторождения, где их мощность составляет 380 м. Они представлены песчано-глинистыми образованиями с прослоями и линзами бурого угля.

Морские и континентальные песчано-глинистые отложения палеогена общей мощностью до 100 м залегают на размытой поверхности палеозоя и мезозоя,а на крайнем юге – на кристаллическом фундаменте.

Песчано-глинистые образования неогена средней мощностью 27 м наблюдаются в основном на водораздельных участках.

Отложения четвертичной системы представлены эоловыми, аллювиальными и делювиальными образованиями континентальных фаций общей мощностью 12 – 55 м.

## Тектоническая структура

В структурно-тектоническом отношении описываемая территория представляет собой западную окраину верхнепалеозойского складчатого сооружения. Основные черты тектоники Западного Донбасса определяются движением блоков кристаллического фундамента, который ступенчато погружается на северо-восток к оси Днепровско-Донецкой впадины. Перекрывающий его комплекс осадочных палеозойских и мезо-кайнозойских пород в соответствии с характером погружения фундамента отличается моноклинальным залеганием. Угол падения отложений уменьшается вверх по разрезу вследствие равномерного нарастания в северном направлении их мощности. Если каменноугольные отложения дислоцированы сбросами и погружаются на север и северо-запад в Новомосковском районе под углом 2 - 6°, мезозойские образования затронуты лишь некоторыми долгоживущими разломами, а угол погружения их в северном направлении не превышает 1-2°. Рыхлые третичные отложения залегают горизонтально.

Западный Донбасс можно рассматривать как систему крупных тектонических глыб, ограниченных тектоническими нарушениями с амплитудой несколько сотен метров. Новомосковский район находится в пределах Приднепровской и Самарской глыб, разделенных Карабиновским сбросом и ограниченных с севера Михайловским. Южную их границу определяет приподнятый край кристаллического щита.

Для территории характерны две системы тектонических нарушений. Прогибание северного борта Украинского щита в процессе формирования Днепровско-Донецкой впадины сопровождалось образованием субпараллельных разрывных нарушений северо-западного простирания, обусловивших в дальнейшем сложную ступенчато-блоковую структуру как кристаллического фундамента, так и перекрывающих его осадочных пород палеозоя. Основными разрывными нарушениями северо-западного простирания являются Орловский, Знаменовский, Карабиновский, Новостепановский, Булаховский и Центральный сбросы с круто наклоненными плоскостями сместителей и амплитудами смещения пород 30 - 180 м.

Ко второй группе нарушений, имеющих северо-восточное простирание, относятся Голубовский и Попаснянский сбросы с амплитудой вертикальных смещений 30 - 90 м, достигающей для Голубовского сброса на севере месторождения 350 м. Они рассекают последнее с юго-запада на северо-восток, разбивая крупные блоки на более мелкие, и имеют западное падение сбрасывателей, в результате чего каменноугольные отложения на фоне их общего погружения на северо-восток характеризуются ступенчатым погружением на запад.



Большинство тектонических нарушений, начавших формироваться в раннепалеозойскую эпоху, носит унаследованный характер развития, в связи с чем вся осадочная толща палеозоя, включая пермь, рассечена разломами. Более молодой Голубовский сброс разрывает и отложения мезозоя. Почти все основные сбросы сопровождаются менее крупными с амплитудами 15 - 40 м, которые наблюдаются в пределах одного-двух блоков. От них, в свою очередь, ответвляются многочисленные мелкие нарушения, максимально развитые в зонах шириной до нескольких десятков метров. Новомосковский район и примыкающая к нему восточная часть Петриковского района наименее дислоцированы, наиболее дислоцирован Павлоградский район. Наиболее крупные сбросы - естественные границы шахтных полей и разведочных участков на месторождении.

Пликативные дислокации по сравнению с разрывными имеют подчиненное значение. Они выражены пологими антиклинальными поднятиями, синклинальными прогибами и флексуроподобными перегибами.

## Гидрогеологические условия угленосной толщи

Изменчивость граничных условий отдельных водоносных горизонтов и несовершенство разделяющих их водоупоров обусловливают значительную сложность и разнообразие гидрогеологических условий территории месторождения, относящейся по гидрогеологическому районированию к Западному району Большого Донбасса /20, 110/.

Первые от поверхности водоносные горизонты, заключенные в отложениях четвертичного, неогенового и палеогенового возраста, гидравлически связаны и содержат пресную и средней минерализации воду (до 6 г/л) смешанного типа. Наибольшая ее минерализация наблюдается в областях разгрузки ниже залегающих горизонтов.

Водоносные горизонты, залегающие под киевскими мергелями (в отложениях бучака, триаса, юры и карбона), характеризуются повышенной минерализацией вод, сопровождающейся увеличением содержания ионов хлора. Общими для этих горизонтов являются хлоридно-натриевый тип вод, увеличение минерализации с юга на север и северо-запад (для Западно-Павлоградского района - на запад), а в вертикальном разрезе - с глубиной. В этом же направлении увеличиваются глубины залегания горизонтов и напоры заключенных в них вод.

По данным геологов Новомосковской геологоразведочной экспедиции, минерализация подземных вод юрских отложений, характеризующихся глубиной залегания кровли 100 - 250 м, составляет 10 - 25 г/л, триасовых, залегающих на глубине 70 - 350 м, 10 - 60, каменноугольных,

кровля которых находится от 80 на юге до 1500 м на севере, – 40 – 140 г/л.

По данным анализов К.А.Скибы и других, химический состав подземных вод из отложений самарской свиты в пределах разведанных участков Новомосковского месторождения можно выразить формулой Курлова: для надпродуктивной толщи

$$M_{40,4-54,4}\ \frac{Cl_{98-99}}{(Na+K)_{80-84}\ Ca_{10-14}};$$

для угольных пластов продуктивной толщи

$$M_{39,1-59,6}\ \frac{Cl_{90-100}}{(Na+K)_{74-85}\ Ca_{10-18}};$$

для песчаников продуктивной толщи

$$M_{49,4-62,9}\ \frac{Cl_{98-100}}{(Na+K)_{70-83}\ Ca_{10-18}};$$

для подпродуктивной толщи

$$M_{59,0-70,0}\ \frac{Cl_{99-100}}{(Na+K)_{76-82}\ Ca_{14-20}}.$$

Зоны тектонических нарушений, находящиеся в толще карбона, в местах развития крепких пород, в частности углей, углистых аргиллитов, песчаников и известняков, характеризуются повышенной обводненностью и отсутствием взаимосвязи водоносных горизонтов. Воды этих зон имеют такой же химический состав, как и воды каменноугольных отложений, и высокую минерализацию, достигающую 54,2 – 85,1 г/л.

Единых представлений на гидродинамические условия глубоких водоносных горизонтов каменноугольных отложений нет. Это объясняется тем, что они характеризуются мощными водоупорными слоями, не всегда выдержанными на площади, дизъюнктивными нарушениями, играющими преимущественно роль экранов, а в некоторых случаях водопроводящих путей, и внутриформационными размывами. В результате в песчаниках, известняках и углях развиты самостоятельные водоносные горизонты, что наряду с недостаточной изученностью водосодержащих отложений не позволяет составить достаточно ясное представление о гидрогеологических условиях комплекса пород карбона в целом.

С точки зрения некоторых исследователей (А.Е.Бабинец и др.), область питания подземных вод палеогена и мезозоя лежит на склоне Воронежского кристаллического массива, приподнятость которого обусловливает их региональное движение с севера на юг в область разгрузки (юго-западные окраины Петриковского, Новомосковского и Павлоградского районов). Воды каменноугольных отложений благодаря контакту с соляными структурами центральной части Днепровско-Донецкой впадины становятся высокоминерализованными. Будучи напорными, они подпитывают водоносные горизонты триаса, юры и бучака, в результате чего последние засоляются. Закономерное уменьшение минерализации вод к югу связано с интенсивным водообменом в зоне разгрузки и опреснением при смешивании с пресными водами палеогена и поверхностными. Режим вод карбона определяется приуроченностью их к зоне затрудненного водообмена.



К.А.Скиба высказал мнение, что областью питания каменноугольного водоносного комплекса является район выхода образований карбона под отложения триаса и бучака на юге, где киевские мергели замещаются песчаниками. Воды комплекса лишены разгрузки и характеризуются застойным режимом.

Вряд ли можно согласиться с первым из приведенных мнений. Воды, химический состав которых формировался при растворении галита, должны характеризоваться отношением $rCl^- = rNa^+$ [81]. В водах каменноугольных отложений Новомосковского района это соотношение имеет вид $rCl^- > rNa^+$, что свидетельствует скорее об их седиментационном генезисе.

Проведенные расчеты показали, что воды продуктивной толщи как угольных пластов, так и песчаников имеют одинаковый состав: $NaCl - CaCl_2 - MgCl_2$. Водные вытяжки из углей характеризуются следующим составом: $NaCl - CaSO_4 - MgSO_4$ (наличие сульфатов, очевидно, объясняется окислением в процессе производства вытяжки, имеющейся в веществе угля серы). Наличие в воде в качестве преобладающего компонента $NaCl$ и в качестве характерного – $MgCl_2$ подтверждает, что она представляет собой остаточный морской солевой комплекс. Повышенное содержание кальция указывает на высокую степень метаморфизма, которую приобрела первоначально морская вода в условиях литогенеза.

По сравнению с находящимися западнее Петриковским и восточнее Павлоградско-Петропавловским районами Новомосковский угленосный район характеризуется более высокой минерализацией вод угленосной толщи.

В Петриковском районе угленосная толща при глубине залегания 140 – 327 м содержит, по данным П.Д.Тихоступа, высокоминерализованную воду хлоридно-натриевого типа с сухим остатком 13,5 – 42,5 г/л. Меньшую минерализацию вод продуктивной толщи Петриковского района по сравнению с Новомосковским следует объяснить их более активным ре-

химом, что связано с несколько более высоким гипсометрическим положением территории Петриковского района, вовлеченной совместно с северным склоном Украинского щита в восходящие движения в конце поздневизейского времени.

В Павлоградско-Петропавловском районе воды хлоридно-натриевые, высокоминерализованные, сухой остаток в среднем составляет 13 г/л. Минерализация повышается с глубиной и с востока на запад, достигая западнее г. Павлограда 66 г/л. Более плавное увеличение минерализации и лучшее качество вод угленосной толщи района объясняются подтоком пресных вод из местных областей питания в его восточной и юго-восточной частях, где разновозрастные породы вплоть до карбона выходят под четвертичные образования, и разгрузкой их через ослабленную тектоническую зону Карабиновского сброса.

## Геологический контроль степени засоленности углей

Сравнение фациальных обстановок накопления угленосных отложений в Западном и Северном Донбассе, находящихся в сходных геотектонических условиях, показало, что в районах, где морские воды оказали большее влияние на химизм коллоидно-связанной воды торфяников, изометаморфные угли оказываются и более солеными. Накопление угленосных отложений самарской свиты в Западном Донбассе протекало в условиях заболоченных приморских низменностей, лагун и мелкого прибрежного моря. Осадки каменской свиты в Северном Донбассе отлагались в условиях приустьевых частей речных долин с преобладанием фаций речных выносов и аллювия, а также переходной обстановки от моря или залива к лагуне [99]. Причем, как показали исследования Л.Г.Рекшинской и др., основной промышленный пласт $k_2^н$ возник при относительно длительном сохранении континентальной обстановки как во время формирования почвенного профиля и самого пласта, так и нижней части его кровли.

Признаком, характеризующим степень химического воздействия морских вод на торфяник, является коэффициент Вернера, представляющий собой отношение $Ca''/Mg''$ в золе углей [152]. Установлено, что степень этого воздействия тем выше, чем ближе численная величина коэффициента к I. По мнению Л.Я.Кизильштейна [49], при невысокой степени углефикации органического вещества этот коэффициент – надежный индикатор морского влияния.

Для пласта $c_1$ самарской свиты он составляет в среднем 4,8, для пласта $k_2^н$ каменской свиты – 10,8, что полностью согласуется с фациальными обстановками накопления их осадков. Таким образом, более благоприятные условия для проникновения морских вод в торфяник



создавались на Новомосковском месторождении, угли которого имеют соответственно большую соленость (в среднем 0,9 % $Na_2O$ на сухой уголь по сравнению с 0,5 – 0,6 % для Богдановского месторождения).

Интересно рассмотреть особенности геохимической обстановки засоления углей в Новомосковском и смежных с ним районах по достаточно устойчивому пласту $c_1$, имеющему широкую площадь распространения.

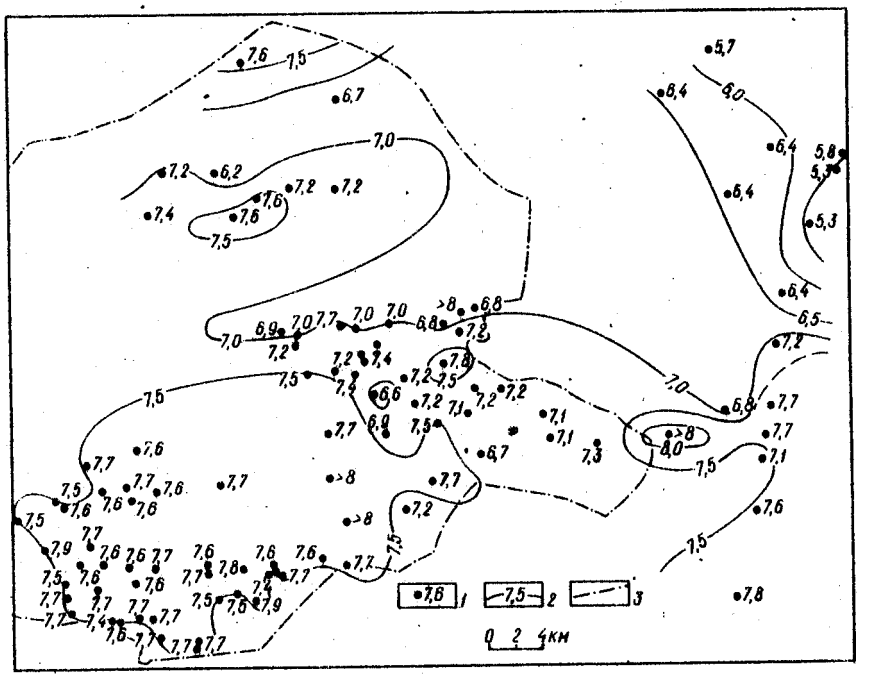



Рис. I.Схематическая карта pH среды торфонакопления пласта $c_1$ Новомосковского месторождения:
I – значения pH; 2 – изолинии pH; 3 – контур месторождения

На Новомосковском месторождении он имеет сложное, реже простое строение, мощность 0,40 – 3, а в среднем для разных участков I,2 – I,6 м. Глубина залегания изменяется от 110 – 200 на юге месторождения до I 350 – I 428 м на севере. Подпочвой и кровлей пласта служат в основном отложения мелководных фаций (болот, мелких лагун) – аргиллиты, алевролиты, редко песчаники.

Для восстановления геохимических условий, существовавших на торфяной стадии пласта, использована методика, предложенная Л.Я.Кизильштейном и Н.Г.Гофманом [52].

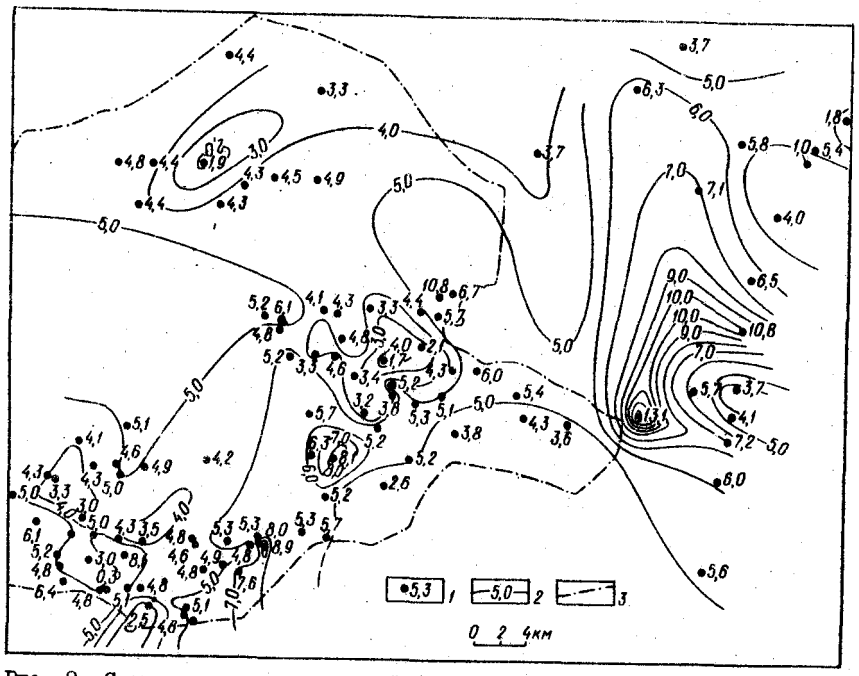



Рис. 2. Схематическая карта коэффициента Вернера ($Ca^{++}/Mg^{++}$) пласта $c_1$ Новомосковского месторождения:
1 – значения коэффициента; 2 – изолинии значений коэффициента; 3 – контур месторождения

Проведенный Е.А.Сковородниковой по данной методике расчет показал, что значения $Eh$ пласта $c_1$ на торфяной стадии изменяются от (–0,I2) до (–0,50) $в$ , что указывает на существование в пределах всей торфяной залежи восстановительных условий. Значения pH изменяются в довольно узком диапазоне (от 5,3 до 7,9), чаще составляя 7,0 – 7,8 (рис. I), и свидетельствуют о влиянии на торфяник морской воды. Коэффициент Вернера, отражающий степень этого влияния, колеблется от I,9 до I3,I. Построенная по его значениям схематическая карта (рис. 2) обнаруживает значительные неоднородности геохимической обстановки на площади торфонакопления.

В зоне сочленения Новомосковского и Западно-Павлоградского районов вырисовывается довольно обширный участок повышенных значений коэффициента Вернера, свидетельствующих о значительном уменьшении влияния морской воды на торфяник. Это увязывается с наличием на данной территории отмеченной А.К.Михалевым и В.Н.Стовповым /7I/ конседиментацион-



ной структуры – пологой поперечной флексурообразной складки, осложненной Карабиновским, Центральным и другими сбросами.

Отмеченная неоднородность геохимических условий должна была соответственно привести к неравномерному засолению торфяника. Это проявляется, в частности, в изменении солености угля пласта $c_1$ (рис.3) на фоне преобладающей тенденции уменьшения ее на восток и северо-восток в связи с увеличением степени метаморфизма углей.

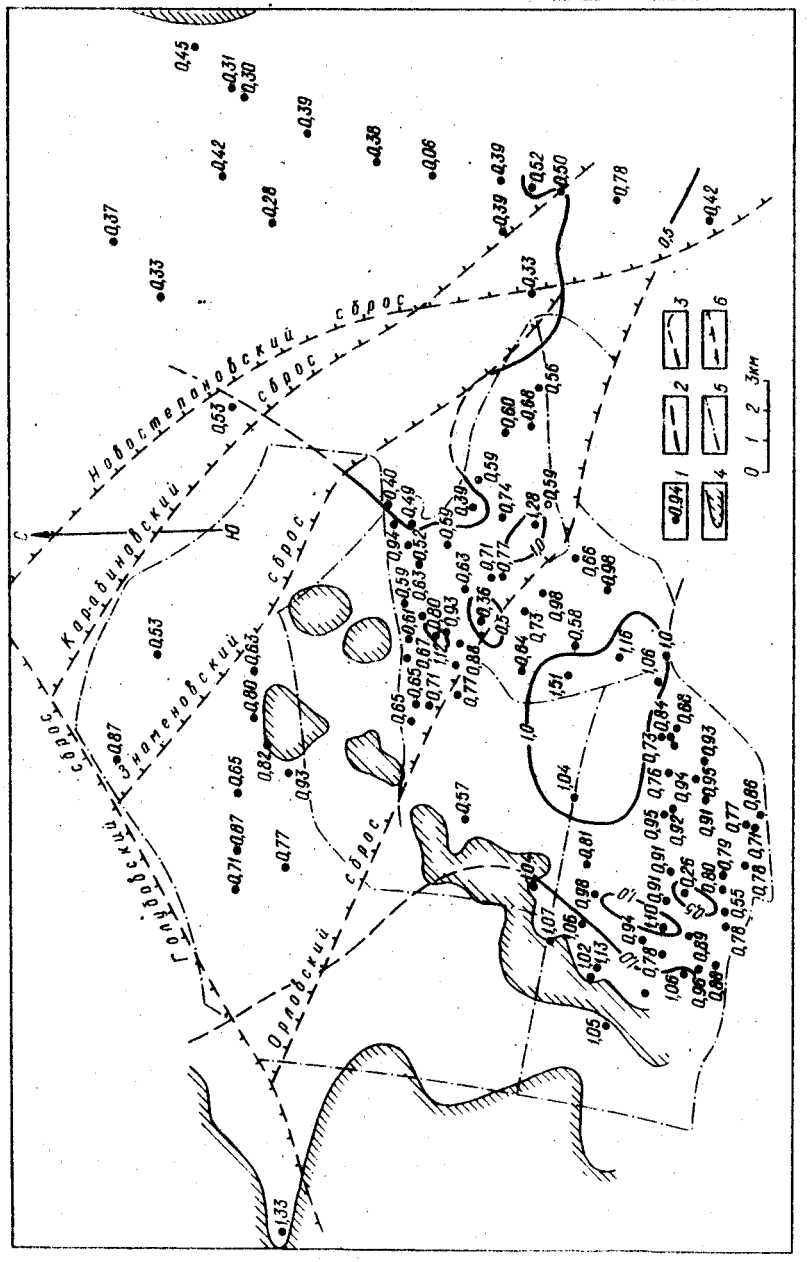
Приведенная схематическая карта солености углей пласта $c_1$ (см. рис. 3) построена по содержанию $Na_2O$ в угле. Критическим для отнесения углей к соленым принято содержание, равное 0,5 %.

Отметим, что пестрота засоления характерна также для современных почвогрунтов, находящихся в зоне влияния моря, что, по мнению Н.М.Богдановой и В.П.Костюченко, связано с различными условиями соленакопления и эволюцией этих процессов /9/. Неравномерно засолены и современные торфяники /I49/.

Что касается торфяников каменноугольного возраста, то Н.В.Логвиненко /62/ отмечает, что отдельные части заболоченных равнин в Донбассе представляли собой острова, вдоль побережья которых произрастала частью на суше, частью в море богатая растительность. Из-за неоднородности гидрохимического режима, рельефа дна, степени замкнутости отдельных участков бассейна и т.п. в одних из них преобладали более соленые воды, в других – более опресненные. Естественно, что эта неоднородность условий не нивелировалась при постепенном наступлении моря и прекращении торфонакопления.

К западу от Новомосковского месторождения на территории Петриковского района пласт $c_1$ имеет простое сложение, среднюю мощность по участкам I,2 – 2,2 м. Минимальная глубина его залегания на юге составляет I95 м. Органическое вещество в пласте накапливалось в болотах, которые формировались на осадках фаций лагунно-заливного побережья. В кровле пласта залегают аргиллиты и алевролиты фаций лагунно-заливного побережья и мелкого моря /II/.

Для расчета коэффициента Вернера по юго-западной поисковой площади Новомосковского месторождения и Петриковскому району есть немногочисленные данные, согласно которым этот коэффициент равен 3,6–3,7. Значения его свидетельствуют, что морская вода оказывала на этих территориях бо́льшее влияние на формирующийся торфяник, чем на остальной площади Новомосковского района. Это дает основание полагать, что первоначальное засоление углей было здесь выше. Однако в настоящее время рассматриваемый район отличается пониженной соленостью угольной органики. Такое несоответствие можно объяснить тем, что более высокая активность подземных вод содействовала, несмотря на меньшую степень ме-




◄Рис. 3. Схематическая карта содержания $Na_2O$ в угле пласта $c_1$ Новомосковского месторождения:
I – содержание $Na_2O$ на сухой уголь, %; 2, 3 – установленные и предполагаемые (условные) изолинии содержания $Na_2O$ (3 – в зонах отсутствия пласта); 4 – границы отсутствия пласта; 5 – границы шахтных полей; 6 – тектонические нарушения



Таблица 3. Содержание натрия и расчет коэффициента Вернера для проб угля пласта $c_1$ шахты "Першотравневая"

| Расстояние от кровли пласта, см | $A^c$, % | $Na_2O$, % на золу | $Na_2O$, % на уголь | CaO, % на золу | MgO, % на золу | Ca/Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0–5 | II,I | 0,69 | 0,080 | 0,78 | 0,70 | I,3 |
| 5–I0 | 5,I | 0,74 | 0,038 | I,22 | 0,80 | I,8 |
| I0–I5 | 3,4 | 0,96 | 0,033 | I,33 | 0,56 | 2,8 |
| I5–22 | I,8 | 2,30 | 0,04I | I,55 | I,04 | I,8 |
| 22–28 | I3,I | 0,38 | 0,050 | 0,55 | 0,24 | 2,7 |
| 28–32 | I,5 | 3,64 | 0,055 | 3,32 | I,76 | 2,2 |
| 32–36 | I,7 | 2,27 | 0,038 | 2,46 | 0,56 | 5,2 |
| 36–40 | I,3 | 3,9I | 0,05I | 2,88 | I,76 | I,9 |
| 58–63 | I,5 | 3,77 | 0,057 | 2,44 | I,28 | 2,3 |
| 63–68 | I,6 | 3,77 | 0,060 | 3,22 | 0,32 | I2,0 |
| 68–73 | I,3 | 4,3I | 0,056 | 2,88 | 0,48 | 7,I |
| Среднее | – | – | 0,048 | – | – | 3,7 |

Примечание. Пробы отобраны С.М.Бушаком.

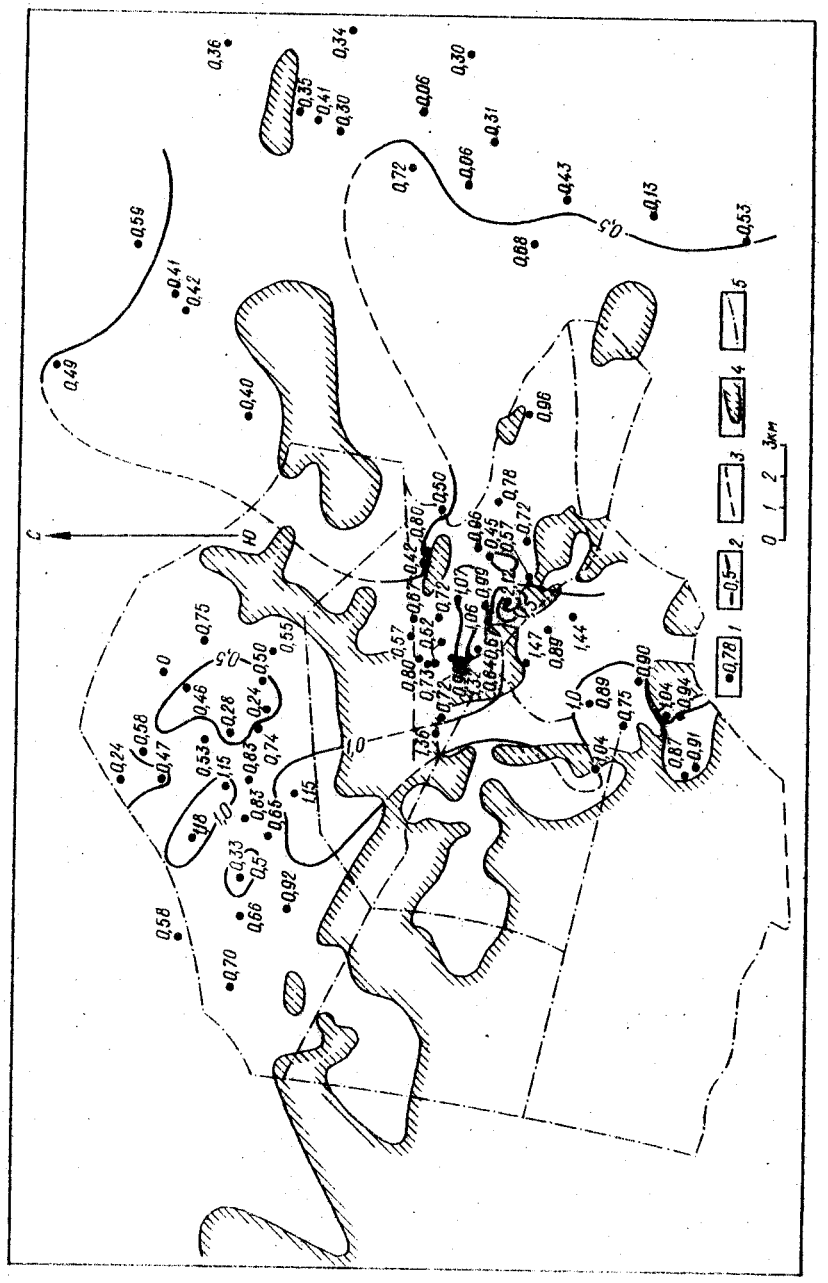
Таблица 4. Содержание натрия и расчет коэффициента Вернера для проб угля пласта $c_1$ шахты "Самарская"

| Расстояние от кровли пласта, см | $A^c$, % | $Na_2O$, % на золу | $Na_2O$, % на уголь | CaO, % на золу | MgO, % на золу | Ca/Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I3–25 | 6,4 | I,49 | 0,095 | 9,40 | 0,32 | 35,0 |
| 25–32 | I,6 | 4,45 | 0,07I | 3,73 | 0,87 | 5,I |
| 32–39 | 3,8 | I,89 | 0,072 | 2,62 | 0,7I | 4,4 |
| 39–44 | 7,I | I,26 | 0,089 | 7,78 | 0,3I | 29,9 |
| 44–5I | 7,7 | 0,96 | 0,074 | 4,82 | 0,47 | I2,2 |
| 5I–58 | 5,0 | I,40 | 0,070 | 4,82 | 0,40 | I4,3 |
| 58–62 | 3,2 | 2,I2 | 0,068 | II,95 | 0,72 | 20,0 |
| 62–70 | 2,0 | 3,24 | 0,065 | 4,30 | I,29 | 4,3 |
| 70–78 | 3,6 | 2,43 | 0,087 | 4,49 | I,I8 | 4,5 |
| Среднее | – | – | 0,077 | – | – | I4,4 |

Примечание. Пробы отобраны С.М.Бушаком.

таморфизма углей, более интенсивному выносу из них хлоридов натрия и снижению общего уровня содержания в них соли, начиная с палеозоя.

В Павлоградско-Петропавловском районе, расположенном юго-восточнее Новомосковского месторождения, пласт $c_1$ имеет простое строение,






мощность его изменяется от 0,5 до 0,8, в среднем 0,7 м, глубина залегания 340 – I 360 м. Подпочву и кровлю пласта слагают аргиллиты, алевролиты, реже песчаники. Средние и верхние части пласта формировались в сильно обводненных торфяниках и водоемах, связанных с прибрежно-морской и лагунной обстановкой /I7/. По данным В.Ф.Шульги /I08/, количество морских фаций в трансгрессивной части соответствующего пласту цикла второго порядка увеличивается до 70 % по сравнению с 40 % в Новомосковском районе. Это подтверждается и низкими значениями коэффициента Вернера, указывающими на значительное влияние морских вод на торфяной пласт, заметно ослабленное лишь у его подошвы (табл. 3).

Отмеченное выше позволяет предположить, что уголь пласта $c_1$, в котором в настоящее время содержатся сотые доли процента натрия, на большей части территории Павлоградско-Петропавловского района был первоначально более засолен, чем на Новомосковском месторождении. Но он находится на более высокой стадии метаморфизма (газовый по сравнению с преимущественно длиннопламенным на территории Новомосковского месторождения /57, с. I2, рис. I/), в связи с чем произошло его обессоливание. Этому способствовал и более активный гидродинамический режим подземных вод.

Данные по пробам углей, отобранным на шахте "Самарская" (табл.4), свидетельствуют о том, что влияние моря на соленость углей сказывалось здесь в гораздо меньшей степени. Очевидно, это связано с приуроченностью указанной территории к Самарскому горсту, проявившемуся в рельефе, по-видимому, уже в раннесерпуховское время. Меньшая, несмотря на это, степень солености углей шахты "Першотравневая" (в среднем 0,048 %) по сравнению с соленостью углей шахты "Самарская" (в среднем 0,077 %) – результат процесса метаморфизма, достигшего для углей рассматриваемого пласта шахты "Першотравневая" более высокой стадии (II по сравнению с I–II на шахте "Самарская" – по ГОСТу 2I 489-76).

Чтобы получить представление о солености углей, заключенных в верхней части средней высокоугленосной подформации, построена карта содержания $Na_2O$ в угле пласта $c_8'$ (рис. 4). Пласт $c_8'$ имеет простое строение, средняя мощность по участкам 0,6 – I м, глубина залегания I35 – I 200 м. На Новомосковском месторождении пласт формировался в условиях трансгрессивного цикла второго порядка.

◀Рис. 4. Схематическая карта содержания $Na_2O$ в угле пласта $c_8'$ Новомосковского месторождения. Условные обозначения см. на рис.3

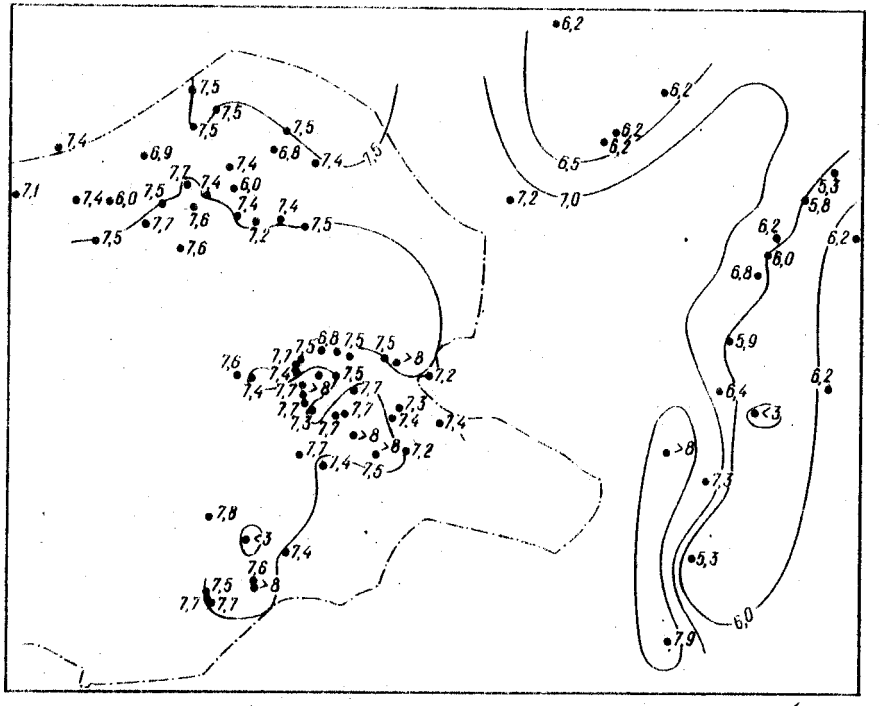


Рис. 5. Схематическая карта pH среды торфонакопления пласта $c_8'$ Новомосковского месторождения. Условные обозначения см. на рис.I

Среда торфонакопления (рис. 5) и коэффициент Вернера (рис. 6) указывают на значительное влияние морских вод на торфяник, которое, очевидно, было несколько выше, чем для пласта $c_7$, что подтверждается более низкими коэффициентами Вернера (0,I – 9) и более высокой щелочностью торфяных вод. Это может быть связано с меньшим влиянием русловых потоков, что характерно для периода накопления верхней части высокоугленосной подформации. Однако степень засоления углей обоих пластов на разведанных участках Новомосковского месторождения, судя по средним значениям содержания $Na_2O$ в угле (0,80 %), примерно одинакова, что можно объяснить некоторым различием их вещественного состава (см. ниже). Приведенная карта свидетельствует о том, что наряду с неоднородностью в степени засоления углей на разных участках, как и для пласта $c_7$, соленость снижается на восток-северо-восток по мере увеличения их метаморфизма.

Таким образом, в соответствии с принятым нами критерием, угли



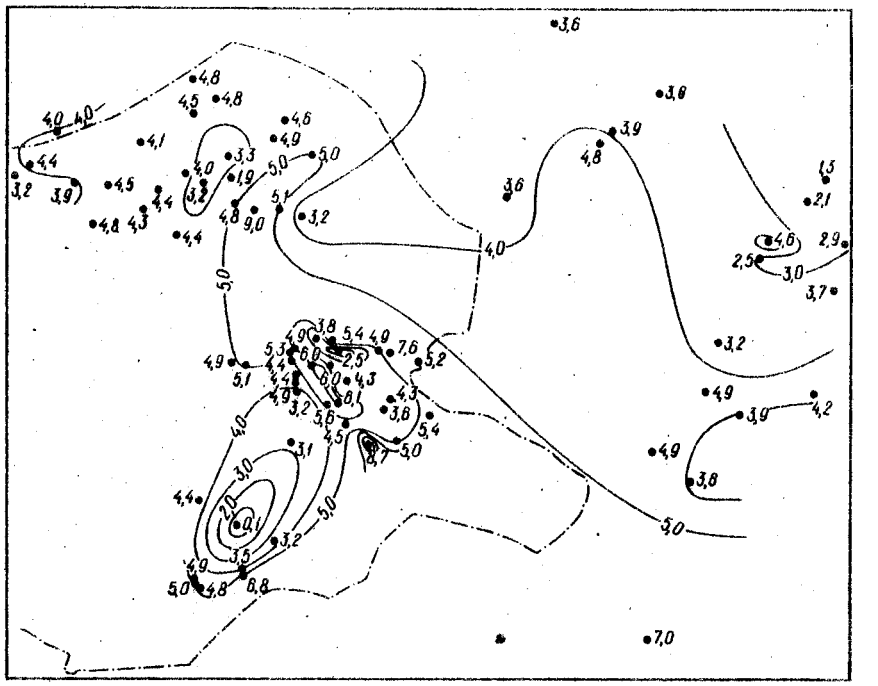


Рис. 6. Схематическая карта коэффициента Вернера пласта $c_8'$ Новомосковского месторождения. Условные обозначения см. на рис.2

месторождения соленые. Карты содержания $Na_2O$ в угле пластов $c_7$ и $c_8'$ Новомосковского месторождения (см. рис. 3, 4) позволяют констатировать уменьшение солености углей с увеличением степени метаморфизма и наметить границу распространения соленых углей в зоне сочленения Новомосковского и Западно-Павлоградского районов по изолинии, соответствующей содержанию 0,5 % $Na_2O$ на сухой уголь.

Эта граница отражает не только изменение солености углей в зависимости от степени их метаморфизма. Поэтому изолиния солености 0,5 $Na_2O$ не совпадает с границей перехода длиннопламенных углей в газовые, идущей вдоль Карабиновского сброса, и сечет ее. Эта изолиния сечет также разрывные нарушения (Знаменовский, Карабиновский, Новостепановский и другие сбросы). Вероятно, ее расположение в какой-то мере определяется первоначальной соленостью углей, связанной с фациальной обстановкой накопления торфяника. Резкий изгиб рассматриваемой изолинии в восточной части Новомосковского месторождения обусловлен

снижением солености в связи с уменьшением влияния моря на гипсометрически более приподнятом участке.

На расположении изолинии граничной солености угля пласта $c_8^1$ (см. рис. 4) сказалась, очевидно, меньшая первоначальная соленость (см. рис. 5), вызванная русловым влиянием Мелитопольской речной системы /I08, с. II5, рис. 55/. Окончательно выяснить этот вопрос помогут более детальные литолого-геохимические исследования.

Группа сотрудников ДО ИМР /3I/, изучавшая распространение соленых углей в Западном Донбассе, принимая за критерий солености 2 % $Na_2O$ в золе углей, пришла к следующим выводам: повышенное содержание натрия наблюдается на площади, включающей Петриковский, Новомосковский и большую часть Западно-Павлоградского районов; наиболее высокое содержание $Na_2O$ в золе углей, повсеместно превышающее 2, а иногда достигающее I5-I6 %, характерно для Новомосковского месторождения; в Западно-Павлоградском районе в направлении с запада на восток оно постепенно уменьшается от 5 до 2 % и менее. Еще восточнее повышенное содержание $Na_2O$ встречается редко и на небольших участках (поле шахты "Благодатная"), не превышая обычно 2 %; содержание $Na_2O$ в золе углей на территории Западного Донбасса изменяется неравномерно, уменьшаясь в северном направлении; северная и западная границы распространения соленых углей в Западном Донбассе находятся за его пределами, а восточная проходит в восточной части Западно-Павлоградского района; ширина зоны распространения соленых углей пластов от $c_1$ до $c_{11}$ достигает I0 - I5 км и имеет северо-восточное простирание. С уменьшением стратиграфической глубины залегания пласта она смещается к западу.

По полученным нами данным при увеличении минерализации подземных вод каменноугольных отложений с глубиной соленость углей соответственно не возрастает. Расчет зависимости соленость - глубина на отдельных участках показывает отсутствие между ними корреляционных связей. Полученные коэффициенты корреляции составляют: для поля шахты 2 - (-0,03) при $n$ = I08, на глубинах 20I - 527 м при 30 пересеченных пластах; для поля шахты 4 - (0,I7) при $n$ = I94, на глубинах 98 - 4I6 м при II пересеченных пластах. Сотрудники ДО ИМР /69/ также отметили, что содержание натрия не зависит от глубины залегания угольного пласта. Комментируя это с позиций гипотезы эпигенетического засоления, которая предполагает тесную связь между содержанием натрия и минерализацией подземных вод, они высказывают мнение, что практически все исследованные ими пластопересечения находятся в той части разреза, где подземные воды застойны и имеют примерно одинаковый химический состав.



Вместе с тем между показателями соленость - глубина, характеризующими один пласт (в данном случае пласт $c_1$) на площади всего месторождения на глубинах от II0 - 200 на юге до I 350 - I 430 м на севере, где минерализация подземных вод возрастает соответственно от 40 до I40 г/г, существует высокая обратная связь (коэффициент корреляции составляет (-0,5I) при $n$ = III). Это объясняется тем, что при больших различиях в глубине проявляется действие метаморфизма, степень которого в этом направлении увеличивается от переходных к длиннопламенным до длиннопламенных углей.

Для выяснения вопроса, существует ли зависимость между мощностью пласта и степенью солености слагающего его угля, автор рассчитал парный коэффициент корреляции по 68 пересечениям пласта $c_1$ при изменении его мощности от 0,36 до I,I4 м. Судя по полученному коэффициенту (0,II), между этими параметрами нет корреляционной зависимости. На отсутствие последней указывает также С.Д.Пожидаев, анализировавший карту мощности пласта $c_1$ с данными содержания $Na_2O$ в золе углей /69, с. 30, рис. 2/ и пришедший к выводу, что содержание натрия при любой мощности пласта значительно изменяется. Однако как те, так и другие данные не достаточно представительны и не могут приниматься в расчет, так как получены по результатам анализов единичных случайно отобранных проб.

По данным В.Ф.Шульги /I08/, между мощностью пластов угля и фациальным составом регрессивной и трансгрессивной частей циклов существует определенная зависимость. В частности, подпочвой пластов рабочей мощности являются преимущественно мелководные фации. Подпочва нерабочих пластов в основном представлена более глубоководными фациями. В кровле пластов рабочей мощности залегают отложения мелких лагун и болот. Кровлей пластов мощностью менее 0,6 м являются более глубоководные фации переходной и морской групп. Условия образования угольных пластов в большей степени связаны с условиями формирования кровли, чем почвы /I09/. Поэтому по среднестатистическим данным мощность пласта и степень засоления угля должны быть тесно связаны. Однако эту связь можно установить при исследовании представительного количества проб как по мощности пласта, так и по площади его распространения, беря в расчет средневзвешенные значения содержания натрия.

По данным сотрудников ДО ИМР /69/, при любом составе вмещающих пород содержание $Na_2O$ в золе углей значительно изменяется. При наличии же во вмещающих породах песчаников содержание натрия (по средним значениям) уменьшается. Авторы полагают, что песчаники, являющиеся обычно аллювиальными, были насыщены пресными водами, с которыми и захоронились. Благодаря глинистому цементу и прослоям водоупорных

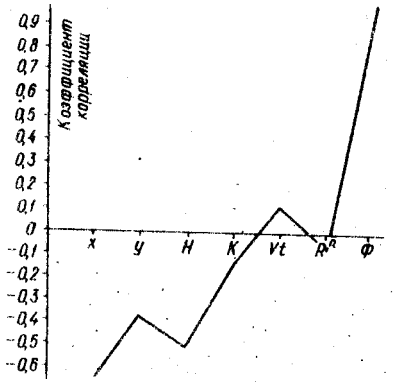



Рис. 7. Парные коэффициенты корреляции содержания $Na_2O$ в угле (Ф), условных координат ( $x, y$ ), глубины (Н), коэффициента Вернера (К), содержания витринита ($Vt$), отражательной способности витринита ($R^o$)

пород, проникновение в них морских вод было затруднено. Заключенные в них воды в связи с этим к моменту проникновения в угли имели более низкую минерализацию.

С позиций гипотезы седиментодиагенетического засоления это можно объяснить следующим образом. На участках фациального замещения угля песчаными отложениями аллювиального генезиса морские воды в период торфонакопления оказывали меньшее влияние на формирующийся торфяник. Подобное явление установлено для Иллинойского бассейна [123], где зафиксирована пониженная палеосоленость углей вблизи областей русловых влияний. А в местах размыва и последующего замещения органического вещества песчаными отложениями, очевидно, создавались условия для частичного выноса из него хлоридов натрия.

Расстояние до разрывных нарушений, по данным ДО ИМР [69], не влияет на содержание натрия (парный коэффициент корреляции для этих параметров составляет (0,04) и (-0,02) при содержании натрия, рассчитанного соответственно на золу и уголь). Считая, что засоление произошло из-за проникновения в угли соленых вод по трещинам, сотрудники ДО ИМР полагают, что полученный отрицательный результат не означает действительного отсутствия связи, а обусловлен недостаточной изученностью дизъюнктивных нарушений, многие из которых не выявлены при геологоразведочных работах.

Л.Я.Кизильштейн и др. [51], изучавшие содержание натрия в углях среднего карбона северной окраины Донбасса, в частности, зависимость его распределения от удельной трещиноватости и в контактовых зонах эндо- и экзотрещин, ставят под сомнение возможность использования полученной информации для решения вопросов генезиса. Они полагают, что накопление натрия в эпигенезе из подземных вод, циркулирующих по трещинам пласта, должно было привести к обогащению их контактовых зон. К подобному эффекту приводит и перемещение натрия в составе реликтовых торфяных вод при дегидратации органического вещества в процессе диагенеза. Заметим, что необходимо учитывать генезис трещин. Возникновение эндогенной трещиноватости связывается с сокращением объема угольного вещества при метаморфизме. Экзогенные трещины образуются в углях под действием внешних сил при складкообразовательных процессах [36]. Трещины того и другого происхождения в незначительной степени унаследуют диагенетические. Поэтому наличие в их контактовых зонах повышенных концентраций натрия будет свидетельствовать о каких-то постдиагенетических процессах, но не обязательно о его обогащении за счет поступлений из подземных вод. К такому же эффекту может, вероятно, привести и перемещение натрия в процессе его выноса из вещества угля при метаморфизме. Поэтому факт обогащения угольного вещества натрием в зоне трещин не содержит однозначной генетической информации.



Для нахождения связи солености углей с некоторыми геологическими факторами, имеющими количественное выражение, была использована программа пошагового регрессионного анализа. На ЕС ЭВМ (модель I 033) по III наблюдениям, соответствующим точкам схематической карты пласта $c_1$ (см. рис. I), Л.Г.Борейко рассчитал корреляционную зависимость содержания $Na_2O$ в угле (Ф) от условных координат (долготы $x$ и широты $y$ ), глубины ($H$), коэффициента Вернера ($K$), содержания витринита ($Vt$) и его отражательной способности ($R^o$). Эта зависимость выражается уравнением

$$\Phi = 2,918819 - 0,000219x + 0,008781Vt - 0,000857H + 0,000739y - 0,312914R^o + 0,021625K \quad (I)$$

при среднеквадратической ошибке $\sigma = 0,206$ и множественном коэффициенте корреляции $r = 0,721$.

Степень влияния каждого параметра соответствует месту в уравнении регрессии. При этом параметры глубины, координат и отражательной способности как бы накладываются друг на друга и в конечном счете отражают влияние фактора метаморфизма, степень которого увеличивается в направлении на восток - северо-восток. Отрицательные коэффициенты корреляции этих параметров, как и коэффициента Вернера (рис. 7), свидетельствуют о том, что увеличение их значений сопровождается уменьшением содержания натрия.

Это уравнение может быть использовано для ориентировочной оценки содержания натрия в угле на территории Новомосковского месторождения.

Итак, фациальная обстановка торфонакопления, характеризующаяся влиянием морской воды на торфяник, явилась основной причиной

засоления углей Западного Донбасса. Активным фактором обессоливания углей является метаморфизм. Гидрогеологическая обстановка, отражающая геотектоническое положение того или иного района, способствует или сохранению солей в условиях застойного режима (Новомосковский район), или обессоливанию в условиях более активного водообмена (Павлоградско-Петропавловский район, возможно, Петриковский).

## ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЗАСОЛЕНИЯ УГЛЕЙ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

### Петрографическая характеристика углей[I]

По исходному растительному материалу угли Западного Донбасса, в том числе Новомосковского месторождения, относятся преимущественно к гумолитам, классу гумитов, редко липтобиолитов, эпизодически встречаются сапропелиты (класс гумито-сапропелитов) /4, 8/. Разнообразные по составу гумиты слагают в основном все пласты. Липтобиолиты встречаются небольшими линзами или прослоями мощностью от 3 - 5 до 10 см. Сапропелево-гумусовые угли наблюдаются чаще на западе Новомосковского месторождения, они залегают в верхней части пластов, иногда появляясь в нижней и средней в виде прослоев мощностью 5 - 60 см.

Исходным материалом углей послужила каменноугольная флора, представленная древовидными плауновидными, членистостебельными, папоротниками, птеридоспермовыми и голосеменными растениями. В торфонакоплении принимали участие разнообразные фрагменты растений, из которых наиболее отчетливо различаются листовые, стеблевые и древесные ткани, органы спороношения и размножения, а также смолоподобные образования.

Некоторые геологи /8/, учитывая изменение состава исходной растительности от гигрофитной к мезофитной, связывают с ней степень обводненности торфяных болот и таким образом выделяют их типы по фациальным обстановкам. Они полагают, что гигрофитная флора - показатель значительной обводненности торфяников. В условиях слабообводненных болот преобладает гигромезофитная растительность и возрастает значение мезофитов. Для угленосной толщи среднего карбона отмечается закономерное уменьшение роли гигрофитов и увеличение значе-

[I] Петрографическая характеристика углей дана по опубликованным материалам, а также исследованиям, проведенным в ПО Южукргеология и Институте геологических наук АН УССР.

ния гигромезо- и мезофитной растительности от нижних пластов к верхним.

По В.Ф.Шульге /108/, флористический комплекс гигрофитной нижнекарбоновой углеобразующей флоры характерен для нижней части угольных пластов, которые накапливались в торфяных болотах и заболоченных приморских низменностях. В кровле угольных пластов находится мезофитно-гигрофитная флора, характерная для приморских озер и мелких лагун.

Указанный автор, выделяя полифациальные подформации угленосных отложений нижнего карбона, учитывал палеогеографические условия их образования и тектонический режим области торфонакопления. По его данным, торфяники, соответствующие по времени образованию нижней части средней высокоугленосной подформации (известняк $\mathcal{B}_{10}$ – угольный пласт $c_7$ ), характеризовались умеренной обводненностью, часто меняющимся уровнем вод, неустойчивым гидродинамическим режимом и значительной проточностью. В результате накапливающийся растительный материал более длительное время подвергался аэробному разложению, обогащался спорами и другими стойкими элементами, а также фюзинитом, что определило сложное неоднородное строение углей с преобладанием кларено-дюреновых разновидностей. Реки, протекавшие через торфяные массивы, были узкими и отличались замедленными течениями. В период накопления верхней части подформации торфообразование происходило в условиях нарастающей трансгрессии моря и ослабления речной деятельности, в обстановке заболоченных низменностей, расположенных на лагунном побережье мелкого эпиконтинентального моря.

П.П.Тимофеев и Л.И.Боголюбова /95/, кладущие в основу типизации торфяных болот степень разложения органического вещества, определяющими факторами его биохимического преобразования считают тектонический режим, который контролирует скорость захоронения растительных остатков и, следовательно, степень их сохранности, и водный режим болота, регулирующий окислительно-восстановительный потенциал среды первичного преобразования органического вещества и этим обусловливающий его тип по степени восстановленности. Соленость и pH среды, по их мнению, не влияют на степень разложения органического вещества, хотя М.Тайхмюллер, очевидно, справедливо полагает, что увеличение щелочности среды стимулирует бактериологическую деятельность и ведет к более интенсивному разложению растительного материала.

С этих позиций кларено-дюреновые угли нижнего карбона формировались в прибрежно-морской обстановке с достаточно устойчивой областью торфонакопления и малыми скоростями опускания. Торфяники отлагались в периодически обводненных застойных болотах с непостоянным окислительно-восстановительным потенциалом среды. Это определило



сильное разложение лигнино-целлюлозных тканей и накопление липоидного и фюзенизированного материала.

Тектонический режим в период формирования углей среднего карбона характеризовался подвижностью области торфонакопления и большей скоростью захоронения растительных остатков. Торфяники формировались в условиях обводненных застойных болот, более восстановительная среда которых способствовала значительной гелификации растительных тканей. Это обусловило образование более восстановленных кларенновых углей со сравнительно невысокой степенью разложения исходного растительного вещества и наличием наряду со стеблевым материалом и органами спороношения большого количества паренхимных тканей с сохранившейся клеточной структурой.

По макроскопическим признакам среди углей нижнего карбона преобладают черные разности с буроватым оттенком, сравнительно плотные, штриховатые, тонко- и среднеполосчатые. Бурый оттенок углю придают

Таблица 5. Содержание литотипов в пластах угля нижнего карбона Новомосковского района, %

| Индекс пласта | Полублестящие | Полуматовые | Матовые | Липтобиолиты |
|---|---|---|---|---|
| $c_{11}$ | 22 | 50* | 28 | Доли |
| $c_{10}$ | 20 | 37 | 41 | 2 |
| $c_8$ | 13 | 59 | 27 | 1 |
| $c_5$ | 25 | 38 | 33 | 4 |
| $c_1$ | 32 | 41 | 23 | 4 |
| Среднее по району | 22 | 45 | 31 | 2 |

* Содержит сапропелиты в долях процента.

линзы и полоски липтобиолитов темно-коричневого цвета. Невооруженным глазом видны скопления макроспор темно-желтого цвета, линзы, гнезда и примазки на плоскостях наслоения сажистого фюзена, иногда пиритизированного, прослойки и налеты глинистого материала, включения кальцита и пирита. Последний чаще наблюдается в виде прожилков, крупных желваков и мелких вкраплений. Угли среднего карбона черные с коричневым оттенком, штриховатые и полосчатые, с линзочками и гнездами фюзена, примазками глинистого материала, включениями пирита и кальцита. Сапропелевые угли однородные, вязкие, плотные.

Петрографическое строение пластов углей нижнего карбона сложное.

Таблица 6. Вещественно-петрографический состав пластов угля нижнего карбона Новомосковского района, %

| Индекс пласта | Группа микрокомпонентов в органическом веществе угля | | | | | Общий состав угля | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Витринит | Семивитринит | Фюзинит | Лейптинит | Микстинит | Органическое вещество | Минеральные включения | |
| | | | | | | | сульфиды | прочие |
| $c_{11}$ | 5I | I | 29 | I8 | I | 96 | 2 | 2 |
| $c_{10}$ | 52 | 2 | 26 | I8 | 2 | 95 | 2 | 3 |
| $c_8$ | 5I | 2 | 24 | 2I | 2 | 94 | 4 | 2 |
| $c_5$ | 52 | I | 22 | 23 | 2 | 97 | I | 2 |
| $c_1$ | 55 | 2 | 2I | 2I | I | 96 | 2 | 2 |
| Среднее по району | 53 | 2 | 22 | 2I | 2 | 96 | 2 | 2 |

Они представлены чередованием различных литотипов с преобладанием полуматовых и матовых. На их фоне выделяются полублестящие и блестящие тонкие полосы и штрихи витрена толщиной I – 3 мм, придающие углю полосчатую структуру и штриховатость. Соотношение литотипов в пластах различно. В стратиграфическом разрезе от вышележащих пластов к нижележащим увеличивается количество полублестящих углей и соответственно уменьшается содержание полуматовых (табл. 5). В каждом пласте чередование литотипов также не постоянно и изменяется по площади и мощности. Полублестящие угли чаще приурочены к нижним частям пластов. Однако средний вещественный состав обычно соответствует полуматовым. В углях среднего карбона преобладают полуматовые и полублестящие литотипы.

Петрографический состав углей определялся по прозрачным двусторонне полированным шлифам в простом и проходящем свете и по аншлифам Л.Б.Зайцевой (ИГН АН УССР). Т.А.Кривега (ПО Южукргеология ) изучала угли по аншлифам-брикетам. Подсчет проводился в соответствии с ГОСТ 9414-74 по пяти группам органических микрокомпонентов (витринита, семивитринита, фюзинита, лейптинита и микстинита) и минеральным примесям (табл. 6).

Микрокомпоненты группы витринита *(Vt)* в углях нижнего карбона наиболее распространены. Их содержание в пластах составляет 5I – 55%, незначительно увеличиваясь с запада на восток и со стратиграфической глубиной (см. табл. 6), в среднем составляя 53 %. Цвет компонентов группы витринита в проходящем свете красный с бурым оттенком, в отраженном – серый различных оттенков. Характерной особенностью их является незначительное количество структурных тканей, представленных небольшими фрагментами (800 – I 600 мкм) линзовидной или неправильной формы с сохранившейся в той или иной степени клеточной структурой. Сравнительно чаще витринит наблюдается в виде линз и полос разной ширины (I50 – 600 мкм) с вертикальными трещинами сокращения, расщеплениями на концах и обычно нечеткими краями. Наиболее широко распространены стеблевые ткани в виде волокнистого аттрита. Для паренхимных тканей характерна комковатая структура, наличие тонкого кутинитта. Бурый оттенок витринита и степень его разложения свидетельствуют о незначительной восстановленности углей нижнего карбона, относящихся к типам *а, аб, аб-б* (маловосстановленные и переходные угли).



Компоненты группы витринита в углях среднего карбона играют большую роль, составляя в среднем 78 %. Содержание их несколько уменьшается со стратиграфической глубиной (от 86 в угле пласта $l_2$ до 73 % в угле пласта $l_0^5$ ). Цвет витринита в проходящем свете желтовато-красный с бурым оттенком, но более яркий, чем в нижнекарбоновых углях. Значительно увеличивается количество структурных тканей. Широко распространены остатки стеблевых и паренхимных тканей с волокнистым и комковатым строением, причем наряду с паренхо-аттритом наблюдаются фрагменты паренхимы с сохранившейся клеточной структурой.

Группа семивитринита *(Sv)* в углях нижнего карбона очень малочисленна. Содержание ее в пластах составляет I – 3 %. Цвет компонентов в проходящем свете темно-буро-красный, в отраженном – светло-серый. Наиболее распространен семивитринито-аттрит.

В составе углей среднего карбона эта группа также не играет большой роли. Она представлена семивитринито-аттритом, переходящим в семифюзинит.

Группа фюзинита *(F)* в углях нижнего карбона представлена собственно фюзинитом, семифюзинитом и микринитом. Их содержание достигает I8 – 37, в среднем 22 %, уменьшаясь со стратиграфической глубиной (см. табл. 6). Цвет компонентов в проходящем свете темно-коричневый и черный, в отраженном – серовато-белый и белый. Структурные ткани представлены в основном небольшими (I 000 – I 800 мкм) фрагментами линзообразной или неправильной форм с хорошо выраженной или заплывшей клеточной структурой. Часто встречается фюзинито- и семифюзинито-аттрит и микринит, играющие значительную роль в сложении дюреновых углей.

Количество фюзенизированных компонентов углей среднего карбона

составляет 4 – I6, а в пласте $l_3^2$ 29 %. Чаще они представлены структурным фюзинитом и семифюзинитом, а также фюзинито-аттритом.

Среди липоидных компонентов (*L*) выделяются микро- и макроспоры, крупные и мелкие микроспорангии, редко тонкая кутикула и мелкие смоляные тельца. Их содержание составляет I7 – 28, в среднем 2I %, несколько уменьшаясь к северу и северо-востоку. Цвет в проходящем свете лимонно-желтый. В отраженном свете микрокомпоненты темно-серые, с высоким рельефом. Наиболее часто наблюдаются микроэкзинит (удлиненный, округлый или в виде штрихов) и макроспоры длиной до 800 – I 000 мкм с утолщенной экзиной. Кутинит тонкий и гладкий.

В углях среднего карбона содержание липоидных компонентов 6 – I7, в среднем I0 %. Среди них преобладает микроэкзинит, тонкий или толстый кутинит и резинит в виде тел овальной или неправильной форм.

Т.А.Кривега выделила в углях нижнего карбона группу микстинита, представленную тонкой смесью частиц витринита и микринита размером около 2 мкм с глинистым веществом. Содержание ее I – 5, в среднем 2 %. Кроме того, среди органических микрокомпонентов углей нижнего карбона отмечена группа альгинита, представленная талломами водоросли типа *Pila* овальных очертаний светло-желтого цвета и колло-альгинитом.

Минеральные компоненты углей нижнего карбона довольно разнообразны. Они наблюдаются в углях в виде тонкорассеянного материала, отдельных зерен, кристаллов, линзочек, наслоений, заполнений трещин и клеточных пустот в растительных фрагментах. Наиболее широко распространены аутигенные сингенетические минералы – пирит, марказит, глинистые образования, кальцит. Пирит, реже марказит встречаются в виде псевдоморфоз по фюзиниту, выполнений его клеточных полостей, крупных и мелких желваков, в значительных количествах наблюдается тонко- и грубодисперсный пирит, рассеянный в гелифицированном веществе. Каолинит представлен линзовидными включениями и тонкочешуйчатыми веерообразными агрегатами (бесцветными или желтоватыми). Глинистое вещество чаще встречается в виде линз или тонкого переслаивания с витринитом, иногда выполняет клеточные полости фюзинита. Среди эпигенетических минералов выделяются кальцит, редко пирит, выполняющие трещины. Аллотигенные минералы, привнесенные в торфяную залежь с терригенным материалом, представлены сравнительно редко встречаемыми в углях Новомосковского месторождения обломками кварца неправильной или угловатой формы и мелкими рассеянными чешуйками слюды. Судя по данным рентгеноструктурного анализа, она представлена в основном мусковитом.

В углях среднего карбона наибольшее значение имеют пирит, каолинит, гидрослюды, кальцит, сидерит, кварц и халцедон.



Галит в углях нижнего и среднего карбона не был обнаружен ни при петрографическом изучении углей в шлифах, ни при исследовании их методами ядерно-магнитного резонанса и рентгенографического анализа.

В строении угольных пластов нижнего карбона принимают участие все группы углей, выделенные для Донецкого бассейна по содержанию витринита (в % на уголь) [4, 8]: клареновая (более 80), дюрено-клареновая (80 – 65), кларено-дюреновая (65 – 40), дюреновая (40 – 20), ультрадюреновая (меньше 20). В каждой группе по соотношению липоидного и фюзенизированного вещества выделяются две подгруппы: споровая (*L* > *F*) и смешанная (*L* < *F*). Наиболее распространены на Новомосковском месторождении кларено-дюрены (40 %) и дюрены (34 %) спорового и смешанного составов, в меньшей степени ультрадюрены (I2 %), дюрено-кларены (9 %) и кларены (5 %). Липтобиолиты и сапропелево-гумусовые угли составляют не более 5 % общей массы углей.

Кларены встречаются редко, образуя небольшие (до 2 см) прослойки среди других углей. Чаще они приурочены к нижним частям пластов. Макроскопически они представлены полублестящими и блестящими литотипами, имеют черный цвет, полосчатые, реже штриховатые, сравнительно хрупкие. В них преобладает витринит красновато-бурого цвета (80 – 85 %), представленный в основном аттритом волокнистого и комковатого строения. Содержание остальных микрокомпонентов невелико: семивитринита I – 5 %, микрокомпонентов группы фюзинита 5–6 и липоидных 7–8 %. По цвету и характеру разложения гелифицированных растительных остатков в них выделяются переходный (*б*), реже маловосстановленный (*а*) типы.

Дюрено-кларены, как и кларены, обычно приурочены к нижней части пластов. Они преимущественно полосчатые, реже штриховатые, черного цвета, сложены полублестящими, реже полуматовыми литотипами. В них компоненты группы витринита, составляющие 68 – 70 %, представлены красно-бурым витринитом волокнистого и комковатого строения. Компонентами группы лейптинита является в основном микроэкзинит, редко кутинит. По типу восстановленности они чаще относятся к маловосстановленным и переходным.

Кларено-дюрены – полуматовые, штриховатые, иногда редкополосчатые, черные угли. Они представлены витро-аттритом с характерным волокнистым строением (50 – 55 %), семивитринитом (5–6 %), фюзенизированными структурными и бесструктурными тканями (I5 – I8 %) и многочисленным микро- и макроэкзинитом (24 – 28 %). Угли, как правило, относятся к маловосстановленным типа *а*.

По всему разрезу пластов встречаются прослойки дюренов шириной

5 – 40 см. Они представляют собой полуматовые и матовые угли, преимущественно штриховатые, черного цвета, крепкие и вязкие. Содержание в них витринизированного вещества, являющегося витро-аттритом темно-красно-бурого цвета, не превышает 30 – 36 %. Группа фюзинита (18 – 26 %) состоит из мелких фрагментов, аттрита и микринита. В группе лейптинита, составляющего 36 – 39 %, преобладает экзинит, располагающийся равномерно или послойными скоплениями.

Ультрадюрены наблюдаются в виде прослоев толщиной 2-3 см среди дюренов в верхней или средней частях пластов. Это матовые, штриховатые и однородные угли, очень крепкие и вязкие. Они состоят в основном из экзинита (экзинитовые ультрадюрены), реже фюзинито-аттрита и микринита (фюзинитовые ультрадюрены). Содержание микрокомпонентов группы витринита не превышает 18 %.

Сапропелевые угли нижнего карбона представлены кеннелями, кеннель-богхедами и богхед-кеннелями.

Угли среднего карбона сложены чаще кларенами (50 %) и дюрено-кларенами (35 %). Кларено-дюреновые угли встречаются тонкими линзообразными прослоями и существенного значения не имеют. Сапропелито-гумиты обнаружены в верхней части пластов в виде линзовидных прослоев среди гумусовых углей. По внешнему виду гумусовые угли однообразны, отличаются более интенсивным блеском, так как состоят преимущественно из блестящих и полублестящих литотипов, полосчатые, реже однородные и штриховатые. Полуматовые и матовые литотипы встречаются тонкими прослоями среди блестящих углей. Они приурочены к верхней части пластов. Компоненты группы витринита имеют более восстановленный характер и лучшую сохранность тканей, чем угли нижнего карбона. В группе фюзинита также преобладают структурные ткани. Иногда наблюдается значительное количество липоидных компонентов.

Наиболее изучены нами по солености пласты $c_1$ и $c_8'$. Пласт $c_1$ сложен преимущественно полуматовыми кларено-дюренами, переслаивающимися с дюрено-кларенами, дюренами, редко кларенами и ультрадюренами. Содержание микрокомпонентов группы витринита на Новомосковском месторождении в среднем по пласту составляет 55 %, семивитринита 3, фюзинита 21 и лейптинита 21 %.

Пласт $c_8'$ также состоит главным образом из кларено-дюренов, чередующихся с дюренами, лишь в северной части месторождения наблюдаются дюрено-клареновые угли. Среднее содержание микрокомпонентов группы витринита по пласту 51 %, семивитринита 2, фюзинита 24, лейптинита 23 %.

Усредненный вещественный состав пластов угля Новомосковского и смежных с ним районов Западного Донбасса очень близок (табл. 7).



Таблица 7. Микрокомпонентный состав угля пласта $c_1$ по районам Западного Донбасса, %

| Район | Микрокомпонентный состав | | | | Общий состав | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Витринит | Семивитринит | Фюзинит | Лейптинит | Органическое вещество | Минеральные включения | |
| | | | | | | сульфиды железа | прочие |
| Петриковский | 54 | 2 | 21 | 23 | 93 | 2 | 5 |
| Новомосковский | 55 | 3 | 21 | 21 | 96 | 2 | 2 |
| Западно-Павлоградский | 55 | 2 | 19 | 24 | 92 | 3 | 5 |

Таблица 8. Изменения показателя отражения витринита пласта $c_1$, %

| Район | От | До | Среднее | Стадия |
|---|---|---|---|---|
| Петриковский | 0,46 | 0,49 | 0,49 | $D_3$ |
| Новомосковский | 0,49 | 0,59 | 0,56 | I |
| Западно-Павлоградский | 0,57 | 0,69 | 0,64 | I, I-II |

При изучении условий формирования нижнекарбоновой угленосной формации Новомосковского района установлена тесная связь между вещественным составом угольных пластов и фациальной принадлежностью вмещающих их пород [109]. При сопоставлении карт группового состава углей и палеогеографических карт под- и надугольной частей циклов, отражающих условия накопления подпочвы и кровли угольных пластов, установлено, что пласты угля с содержанием витринита более 50 % (дюрено-кларены и частично кларено-дюрены) подстилаются и перекрываются сравнительно глубоководными осадками (лагун, прибрежного моря), а пласты кларено-дюренов с содержанием витринита менее 50 % – отложениями мелких лагун и заболоченных приморских низменностей.

Метаморфизм углей определялся по цвету гелифицированного и липоидного вещества, показателям преломления и отражения. Гелифицированное вещество углей Новомосковского месторождения в прозрачных шлифах красно-бурое, споры лимонно-желтые. При скрещенных николях наблюдается отчетливая анизотропия. В отраженном свете с масляной иммерсией гелифицированное вещество темно-серое, споры темно-коричневые. Эти признаки характерны для каменных низкометаморфизованных углей.

Показатель отражения витринита углей нижнего карбона, который определялся по ГОСТу 12113-77, изменяется в воздушной среде от 6,9 –

7 на юго-западе месторождения (поле шахты 4) до 7,3-7,4 % на северо-востоке за Булаховским сбросом, в масляной иммерсии - от 0,48 - 0,49 до 0,61, что соответствует стадиям метаморфизма от $Д_3$ до I (по ГОСТу 21489-76). Его значения постепенно увеличиваются и в стратиграфическом разрезе, изменяясь от 7 в пласте $с_{II}$ до 7,2 % в пласте $с_I$. Градиент метаморфизма (на 100 м вертикального разреза) по показателю отражения витринита в воздухе составляет 0,04 - 0,05 %. В среднем по площади показатель отражения равен 7,0 - 7,2 в воздухе и 0,50 - 0,55 % в масле. Влияние восстановленности на его значения почти не сказывается, так как на месторождении она изменяется незначительно. Показатель преломления витринита составляет 1,722 - 1,754. По всем оптическим признакам угли Новомосковского месторождения длиннопламенные и лишь на юго-западе близкие к переходным от длиннопламенных к бурым (стадии метаморфизма $Д_3$-I ). От Петриковского до Западно-Павлоградского районов степень метаморфизма углей пласта $с_I$ изменяется от стадий $Д_3$ до I-II (табл. 8).

Показатели отражения витринита углей среднего карбона в масляной иммерсии составляют 0,40 - 0,50 %, в связи с чем они относятся по ГОСТ 21489-76 в основном к стадии $Д_3$.

## Химико-технологическая характеристика углей и зол

Геотектоническое положение района и связанные с ним фациальные, геологические и гидрогеологические условия определили своеобразие химико-технологических свойств углей Новомосковского месторождения и их отличие от углей сопредельных территорий. По степени метаморфизма и качественным показателям они занимают промежуточное положение между углями Петриковского и Западно-Павлоградского районов (табл.9).

Промышленное значение имеют угли нижнего, отчасти среднего карбона.

Угли нижнего карбона Новомосковского месторождения в основном относятся к среднезольным, зольность несколько увеличивается к западу, достигая максимума в Петриковском районе. В Западно-Павлоградском и Петропавловском районах по средним значениям угли малозольные, повышенная зольность наблюдается на отдельных участках в пластах $с_I$ и $с_8$. Влажность углей закономерно уменьшается от Петриковского к Петропавловскому району.

Угли Петриковского района среднесернистые. Среднее содержание серы на Новомосковском месторождении, по данным Н.М.Заезжева и др. [20], увеличивается с востока на запад от I,8 (угли марки Г) до 3 (угли марки Д), преобладающее количество углей содержит серы до I,5-



Таблица 9. Физико-химическая характеристика углей различного марочного состава по районам, %

| Показатель | Петриковский [20] | | Новомосковский [20] | | | Западно-Павлоградский [38] | | | Петропавловский [20] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Нижний карбон | Средний карбон | Нижний карбон | | Средний карбон | Нижний карбон | | Нижний карбон | | Средний карбон | |
| | | | Г | Д | | | | | Г | Д | |
| Технический анализ | | | | | | | | | | | |
| $W^a$ | 4,7-24,7 | 4,1-24,5 | 5,0-10,0 | 7,0-13,0 | 10,5 | 4,6 | | 1,0-5,6 | | 3,3-10,5 | |
| $A^c$ | 6,1-35,8 | 5,5-39,5 | 5,0-16,9 | 6,0-39,6 | 8,5-39,0 | 12,0 | | 3,0-16,0 | | 3,7-17,5 | |
| $S^c_{общ}$ | 1,40-3,31 | 3,81-6,20 | 0,9-3,4 | 1,0-5,0 | 3,0 | 1,5 | | 0,9-3,5 | | 1,0-4,0 | |
| $V^r$ | 43,9-44,7 | 42,4-45,6 | 41-46 | 43-49 | 42-49 | 41 | | 37-45 | | 41-47 | |
| Горючая масса | | | | | | | | | | | |
| $C^r$ | 69,0-77,9 | 63,8-77,0 | 75,6-80,0 | 72,3-75,2 | 72,0 | 80 | | 78-85 | | 79,5-81,1 | |
| $H^r$ | 4,4-5,87 | 4,0-6,2 | 4,9-5,2 | 5,0-5,6 | - | - | | 5,0-5,7 | | 5,3-5,9 | |
| $(O+N)^r$ | 13,2-24,7 | 13,7-27,6 | - | - | - | - | | - | | - | |
| $S^r$ | - | - | 9,3-18,5 | 19,5-22,0 | - | - | | 9,3-17,0 | | 11,5-14,6 | |
| $Q^r_б$, мДж/кг | 29,2-31,0 | 27,4-30,8 | 29,7-33,5 | 29,3-31,8 | 30,2 | 31,9 | | 33,1-35,6 | | 31,8-33,9 | |

2 %. По данным ДО ИМР [69], никакой закономерности в распределении серы по площади в одном пласте не наблюдается. Большинство углей Петропавловского района относится к мало- и среднесернистым. Основное количество серы относится к пиритной. Проведенный нами расчет содержания серы по видам для углей по полю шахты 4 Новомосковского месторождения (табл. 10) свидетельствует о том, что пиритная сера в среднем составляет 64,9 %, органическая - 28,4, сульфатная - 6,7 % серы общей. Причем количество пиритной серы возрастает с увеличением содержания общей серы, органической - несколько снижается, а сульфатной остается примерно постоянным. Лишь в интервале 3 - 3,5 % содержания общей серы заметно увеличивается количество органической при снижении пиритной и сульфатной.

Выход летучих веществ по средним показателям уменьшается с запада на восток, составляя для углей Новомосковского района 44,2 %. Также уменьшается в восточном и северо-восточном направлениях содержание гуминовых кислот и функциональных групп. В углях Западно-Павлоградского района гуминовые кислоты, по данным В.П.Савковой, Т.А.Кривеги и др., уже полностью отсутствуют.

Содержание углерода и теплотворная способность горючей массы закономерно увеличиваются от малометаморфизованных углей Петриковского района до газовых Петропавловского. Угли Новомосковского района по этим показателям характеризуются промежуточными значениями.

Обогатимость углей нижнего карбона изменяется от весьма трудной в Петриковском и западной части Новомосковского районов до средней, а в Петропавловском районе легкой (параллельно изменению марочного состава углей). Выход смолы полукоксования увеличивается в среднем от 11,2 % для углей Петриковского района до 13,5 - Западно-Павлоградского, составляя для углей Новомосковского района 12,1 %. Также закономерно увеличиваются пластометрические показатели (толщина пластического слоя от 0 в Петриковском и Новомосковском районах до 18 - в Западно-Павлоградском). Неспекающиеся угли Петриковского и большей части Новомосковского районов севернее Карабиновского сброса переходят в слабоспекающиеся, а затем спекающиеся.

Таким образом, изменение характерных показателей качества углей свидетельствует об общей закономерности увеличения степени их метаморфизма в восточном и северо-восточном направлениях. В Петриковском районе угли, по донецкой классификации [20], относятся к переходным от бурых к длиннопламенным, далее к северо-востоку они переходят от длиннопламенных слабо окисленных (угли всех пластов шахтных полей Новомосковского месторождения) через длиннопламенные неокисленные (се-



Таблица 10. Содержание серы по видам соединений, %

| Интервал содержания общей серы | Содержание серы | | | | Содержание видов соединений в общей сере | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Пиритная | Сульфатная | Органическая | | Пиритная | Сульфатная | Органическая | |
| 2,0-2,5 | 1,31 | 0,64 | 0,24 | | 59,9 | 29,2 | 11,0 | |
| 2,5-3,0 | 1,31-2,03 | 0,59-1,44 | 0,16-0,30 | | 56,0 | 36,1 | 7,6 | |
| | 1,55 | 1,00 | 0,21 | | | | | |
| 3,0-3,5 | 0,99 | 2,12 | 0,01 | | 31,7 | 67,9 | 0,3 | |
| 3,5-4,0 | 1,81-2,81 | 0,90-1,39 | 0,18-0,76 | | 61,8 | 30,2 | 8,2 | |
| | 2,33 | 1,14 | 0,31 | | | | | |
| 4,0-4,5 | 2,01-3,84 | 0,47-2,07 | 0,17-0,54 | | 61,1 | 32,6 | 7,0 | |
| | 2,62 | 1,40 | 0,30 | | | | | |
| 4,5-5,0 | 2,97-3,90 | 0,82-1,45 | 0,22-0,35 | | 70,1 | 24,6 | 5,5 | |
| | 3,31 | 1,16 | 0,26 | | | | | |
| 5,0-5,5 | 3,12-4,31 | 0,53-1,53 | 0,34-0,41 | | 74,4 | 18,3 | 7,5 | |
| | 3,77 | 0,93 | 0,38 | | | | | |
| 5,5-6,0 | 4,25 | 0,81 | 0,47 | | 76,8 | 14,6 | 8,5 | |
| 6,0-6,5 | 4,75 | 1,17 | 0,35 | | 75,8 | 18,7 | 5,6 | |
| 8,5-9,0 | 7,11 | 1,06 | 0,51 | | 81,8 | 12,2 | 5,9 | |
| Среднее | - | - | - | | 64,9 | 28,4 | 6,7 | |

вернее Карабиновского сброса) в газовые на северо-восточной границе с Павлоградским месторождением.

По данным И.Т.Кондратюка и В.Е.Забигайло [56], изучавших коллекторские свойства углей и пород Западного Донбасса, угли свиты $C_1^3$ невысоких стадий метаморфизма (длиннопламенные и газовые) имеют повышенную пористость, но низкую проницаемость, что авторы объясняют высоким содержанием липоидных компонентов, вызывающих их уплотненность и низкую трещиноватость.

Угли среднего карбона, отличаясь от нижнекаменноугольных петрографическим составом и более низкой степенью метаморфизма, характеризуются большей зольностью, сернистостью и бо́льшим содержанием влаги (см. табл. 9). По степени углефикации они изменяются от переходных к длиннопламенным в Петриковском районе до длиннопламенных неспекающихся на остальной территории. И лишь в восточной части Петропавловского угленосного района угли свит $C_2^1$ - $C_2^3$ переходят в газовые пониженной спекаемости.

Качественная характеристика углей изменяется и в зависимости от принадлежности к тому или иному петрографическому типу. При переходе от кларенов к дюренам увеличиваются зольность, выход летучих и смолы, содержание общей серы.

Золы углей Западного Донбасса характеризуются закономерным уменьшением содержания натрия по направлению на восток - северо-восток. По имеющемуся небольшому количеству анализов в золе углей Петриковского месторождения содержание щелочных металлов в сумме составляет 4,8 - II %. На территории Западно-Павлоградского района суммарное их количество уже не превышает I,3 - 6,2 %, и по принятому нами критерию содержания натрия угли в основном несоленые (см. рис. 3, 4). В Петропавловском угленосном районе, по данным справочника "Энергетическое топливо СССР" [III], содержание натрия в золе углей составляет всего 0,6 - I %.

Наибольший интерес представляют каменные угли Новомосковского месторождения, основной особенностью которых является наличие в них значительного количества хлористого натрия. Состав их золы специфичен. Последняя отличается большим содержанием оксида натрия, количество которого изменяется от долей до I8,3 %. В расчете на сухой уголь содержание $Na_2O$ при зольности I0 % составляет 0,8-0,9 %. Кроме того, зола содержит значительное количество $CaO$ (27 - 34, иногда 49 %) и повышенное $Fe_2O_3$ (57 - 64, редко 74 - 76 %), особенно в пробах с низкой зольностью.

Средний химический состав золы, рассчитанный Э.П.Диком и др. для углей нижнего карбона при зольности I0 %, такой (в %): $SiO_2$ -



35,4; $TiO_2$ - I,0; $Al_2O_3$ - I9,0; $Fe_2O_3$ - I9,6; $CaO$ - II,5; $MgO$ - 3,I; $K_2O$ - 2,0; $Na_2O$ - 8,4. В углях пласта $C_1$ содержание $Na_2O$ в золе составляет 2,5 - I8,3, в угле пласта $C_2^1$ - 0,4 - I6,2 %.

По данным геологов Новомосковской геологоразведочной экспедиции и нашим исследованиям, состав золообразующих компонентов углей среднего карбона следующий (в %): $SiO_2$ - 5,0 - 48,3; $Al_2O_3$ - 3,0 - 35,4; $Fe_2O_3$ - 2,4 - 63,6; $CaO$ - 3,3 - 26,0; $MgO$ - I,I - 8,8; $SO_3$ - 0,3 - 28,8; $TiO_2$ - 0,I4 - I,7; $P_2O_5$ - 0,07 - 2,07; $K_2O$ - 0,6 - 2,8; $Na_2O$ - 4,0 - I4,8.

По соотношению кислых и основных компонентов золы месторождения кислые, реже основные.

Плавкостные характеристики золы, рассчитанные И.И.Матвеевой и П.Я.Будниковой, следующие (в $^0C$ ): температура начала деформации ($t_1$) в среднем I 060 (изменяется от 950 до I 240), размягчения ($t_2$) I I20 (от 960 до I 300), начала жидкоплавкого состояния ($t_3$) I I35 (от 970 до I 450). Чаще зола соленых углей имеет невысокие плавкостные характеристики, являясь, исходя из средних значений, легкоплавкой.

По данным, полученным в ДО ИМР [69], золы углей и минеральный состав вмещающих пород существенно различаются по химической характеристике. Зола углей по сравнению с породами имеет пониженное содержание оксидов кремния, калия, а также алюминия и повышенное - оксидов железа, кальция, серы, магния и натрия. В частности, $Na_2O$ в золе углей содержится в 9 - II раз больше, чем в минеральной составляющей пород. Содержание хлора в углях в I0 - I3,7 раз превышает его содержание в породах.

## Связь петрографических и химических параметров углей с их соленостью

Засоление угля в стадию торфяника предполагает преимущественную связь натрия с гелифицированным веществом угля, в первую очередь с витринитом. Как показали многочисленные исследования [63,85,II5,II6], именно на стадии седиментодиагенеза при низком окислительно-восстановительном потенциале и пониженной кислотности среды гелифицированное вещество обогащается дериватами лигнина, способными связывать элементы-примеси из растворов. Кроме того, по мнению Я.Э.Юдовича [II6], первичная восстановленность витренов, их высокие сорбционные свойства и способность лучше сохранять первично-растительную минеральную составляющую приводят к тому, что именно в них концентрируется максимальное количество элементов-примесей. Обстановка торфообразования

на Новомосковском месторождении была благоприятна для обогащения торфа солями. Поэтому преимущественная концентрация натрия в витрините подтвердила бы его синдиагенетическое происхождение. Накопление элементов-примесей в эпигенезе должно привести, по мнению Э.Я.Юдовича [115], к обогащению ими фюзинита, который в качестве сорбента и восстановителя превосходит все остальные микрокомпоненты благодаря своей развитой поверхности, более крупному размеру пор, наличию клеточных полостей и высокому содержанию углерода. Очевидно, что натрий эпигенетического происхождения должен быть количественно связан с фюзинитом.

По методике пошагового регрессионного анализа была рассчитана корреляционная зависимость содержания общего и водорастворимого натрия от микрокомпонентного состава углей: количества витринита (Vt), фюзинита (F), лейптинита (L) и минеральных примесей (Mi) по данным 80 подсчетов. Полученные уравнения регрессии имеют следующий вид:

для общего натрия в угле

$$\Phi_0 = -0,4396 + 0,01821\,Vt + 0,008386\,F + 0,007476\,L + 0,009228\,Mi \qquad (2)$$

при $r = 0,767$ и $\sigma = 0,157$;

для водорастворимого натрия

$$\Phi_B = -1,0155 + 0,01989\,Vt + 0,01417\,F + 0,013841\,L + 0,01443\,Mi \qquad (3)$$

при $r = 0,702$ и $\sigma = 0,147$.

Таблица II. Матрица парных коэффициентов корреляции содержания натрия ($Na_2O$) с микрокомпонентным составом углей

| Переменная величина | Vt | F | L | Mi | $\Phi_0$ | $\Phi_B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vt | 1,000 | -0,715 | -0,716 | -0,283 | 0,756 | 0,655 |
| F | 0,715 | 1,000 | 0,083 | -0,046 | -0,499 | -0,407 |
| L | 0,716 | 0,083 | 1,000 | 0,234 | -0,559 | -0,473 |
| Mi | 0,283 | -0,046 | 0,234 | 1,000 | -0,201 | -0,177 |
| $\Phi_0$ | 0,756 | -0,499 | -0,559 | -0,201 | 1,000 | 0,884 |
| $\Phi_B$ | 0,655 | -0,407 | -0,473 | -0,177 | 0,884 | 1,000 |

Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что натрий связан с органической частью угля, причем преимущественно с витринитом. Из матрицы парных коэффициентов корреляции (табл. II) видно, что общий и водорастворимый натрий имеет с витринитом положительную связь (коэффициенты корреляции составляют соответственно 0,756 и 0,655), а с фюзинитом и лейптинитом – отрицательную. Слабее всего проявляется



его связь с минеральными примесями. Указанная закономерность иллюстрируется и рис. 8, который свидетельствует о парагенетической связи натрия с петрографическими типами углей, выделяемыми по количественному содержанию витринизированных компонентов.

В ПГО Южукргеология были проведены специальные исследования для установления характера распределения щелочных компонентов в литотипах углей и по разрезам пластов, для чего петрохимическими методами изучались соответствующие пробы. Наибольшее содержание натрия ($Na_2O$) (и в золе, и в пересчете на уголь) характерно для полублестящих и блестящих литотипов (кларена и витрена) – до 0,88 % на уголь (при 13,5 % в золе). Для фюзена и дюрена оно составляет соответственно 0,53 (7,8 % в золе) и 0,68 % (9,9 % в золе). Эта закономерность прослеживается во всех пластах по всему району. Поскольку в нижней части большинства угольных пластов нижнекаменноугольных отложений залегают полублестящие или близкие к ним угли, содержащие витринита больше, чем полуматовые и матовые угли верхней части пластов, наблюдается тенденция к увеличению содержания натрия от кровли к почве.

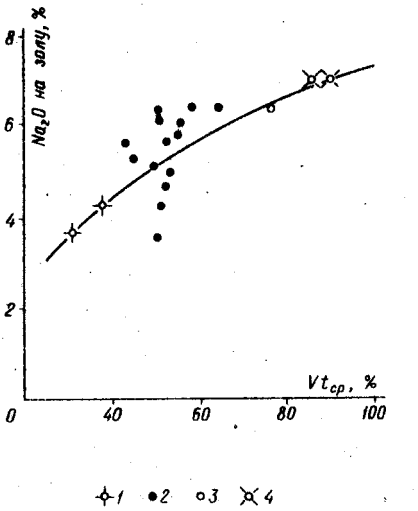



Рис. 8. Парагенетическая связь натрия с петрографическими типами углей (для зоны сочленения Новомосковского и Западно-Павлоградского районов):
1 – дюрены; 2 – кларено-дюрены; 3 – дюрено-кларены; 4 – кларены

В противоречии с этими результатами находятся данные, полученные сотрудниками ДО ИМР [69], изучавшими распределение химических элементов на микроанализаторе М-42. Как в шлифах, изготовленных с применением воды, так и в шлифах, при изготовлении которых в качестве смачивающей жидкости использовались вазелиновое масло и толуол, предохраняющие водорастворимые соли от вымывания, содержание натрия оказалось фоновым во всех микрокомпонентах. Возможно, это связано с какими-либо погрешностями в методике. Тем более что подобное изучение распределения натрия и калия в микрокомпонентах углей Северного Донбасса на приборе фирмы "Камека" [51] показало, что гелифицированные микрокомпоненты заметно обогащены натрием (причем тем больше, чем больше степень разложения органического вещества). Более низкие кон-

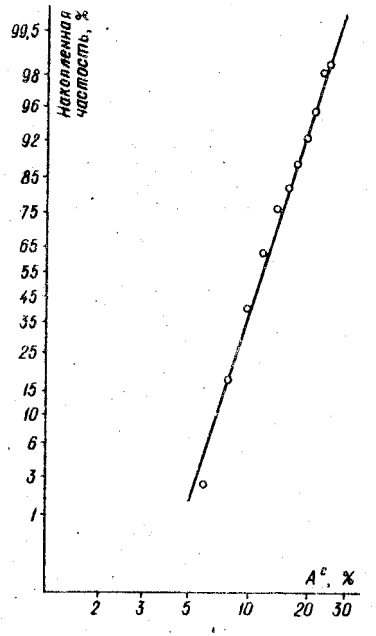



Рис. 9. Распределение зольности по пробам углей нижнего карбона поля шахты 4 ($n$ = 221)

Таблица 12. Содержание натрия в стратиграфическом разрезе для проб угля с 30 – 40 % витринита

| Номер скважины | Индекс пласта | $Na_2O$, % | |
|---|---|---|---|
| | | в золе | на уголь |
| 4 | $c_3$ | 13,2 | 1,00 |
| 4 | $c_1$ | 3,8 | 0,81 |
| 6 | $c_{12}$ | 10,0 | 0,76 |
| 6 | $c_1$ | 4,5 | 0,49 |

центрации наблюдаются в фюзенизированных микрокомпонентах. Еще меньше натрия содержится в смоле и микроспорах. Эти выводы полностью совпадают с нашими данными по Новомосковскому месторождению, полученными с помощью математической обработки петрохимических материалов (см. рис. 7, уравнения 1 – 3), и с результатами прямого определения натрия в литотипах, проведенного Т.А.Кривегой.

Для выяснения влияния метаморфизма на степень солености углей в ПО Южукргеология определялось содержание $Na_2O$ в отобранных по стратиграфическому разрезу пробах углей с одинаковым петрографическим составом. Установлено, что содержание натрия уменьшается от вышележащих пластов к нижележащим, что можно объяснить увеличением (хотя и незначительным) степени их углефикации (табл. 12). Влияние метаморфизма на количество $Na_2O$ в углях хорошо иллюстрируется данными, полученными по среднепластовым пробам углей (скв. 1 и 6), содержащих 60 – 70 % витринита. Оказалось, что в углях с показателем отражения витринита 0,48 % (в масле) количество $Na_2O$ составило в золе 8,9, в пересчете на уголь 1,12 %, а в пробах с показателем отражения 0,51 % – соответственно 3,4 и 0,64%.

Оценка роли микрокомпонентного состава углей в концентрировании химических элементов и учет обессоливающего действия метаморфизма позволяет найти ответы на некоторые вопросы, возникающие при изучении закономерностей распределения натрия в углях. Несколько большее влияние морской воды на органическое вещество пласта $c_3'$ по сравнению с $c_1$ не вызвало более высокого содержания в нем натрия. Это несоответствие объяснимо, если учесть, что уголь пласта $c_1$ содержит в среднем на 9,6 % больше микрокомпонентов группы витринита.



Судя по фациальным условиям торфонакопления на Новомосковском месторождении в среднем карбоне, влияние морской воды на торфяники было весьма значительным. Об этом свидетельствуют и более низкие, чем для нижнего карбона, значения коэффициента Вернера (среднее 2,9 при изменении от 0,2 до 8,5). Однако быстрое захоронение торфяника под отложения типично морских фаций, обычно залегающих в кровле пластов, обусловило невысокую степень разложения исходного растительного материала. Вместе с тем угли среднего карбона характеризуются значительно более высоким содержанием микрокомпонентов группы витринита (в среднем 78 %) по сравнению с углями нижнего карбона (52 – 53 %). Таким образом, угли среднего карбона, испытавшие в период торфонакопления более активное воздействие морских вод, менее метаморфизованные и отличающиеся значительно большим содержанием витринита, хотя и менее разложенного, будут, очевидно, характеризоваться более высокой соленостью, чем угли нижнего карбона.

Анализ геохимических особенностей соленых углей и математическая обработка геохимических данных также позволили получить определенную информацию для решения некоторых вопросов генезиса соленых углей. Распределение зольности в углях изучаемого месторождения подчиняется логнормальному закону. Об этом свидетельствуют прямые линии диаграмм, построенных на вероятностной бумаге, где на оси абсцисс отложены логарифмы интервалов содержания зольности, на оси ординат – накопленная частость проб в % [73] (рис. 9). По мнению Я.Э.Юдовича, вопрос о геохимической интерпретации логнормального распределения зольности должен решаться на основании изучения торфяной стадии процесса углеобразования.

Как известно [115, 119 и др.], зола углей делится на следующие виды: терригенную, состоящую из глинистых минералов, кремнезема, полевого шпата, акцессорных минералов и т.д.; растительную, состав которой определяется элементами, поступившими в торф при разложении растений-торфообразователей; аутигенную, представляющую собой новообразования сульфидов, карбонатов и т.п.; инфильтрационную, сложенную минералами, которые образовались в трещинах в уже сформировавшемся угольном пласте, и сорбционную, выделенную И.Н.Семашевой и И.А.Софиевым [88]. Учитывая, что относящиеся к сорбционной золе минеральные примеси находятся в угле в тонкорассеянном состоянии и не обнаруживаются под микроскопом даже при больших увеличениях, указанные авторы допускают, что они накопились в органическом веществе в результате сорбции или ионообменных процессов в стадию седиментогенеза.

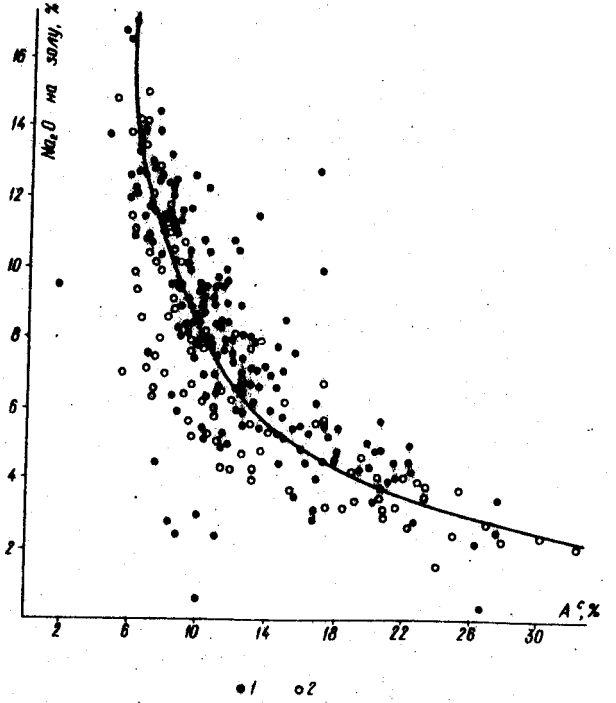



Рис.I0. Зависимость содержания $Na_2O$ от зольности: I – пробы угля нижнего карбона по полю шахты 4; 2 – пробы угля нижнего и среднего карбона по полю шахты 2

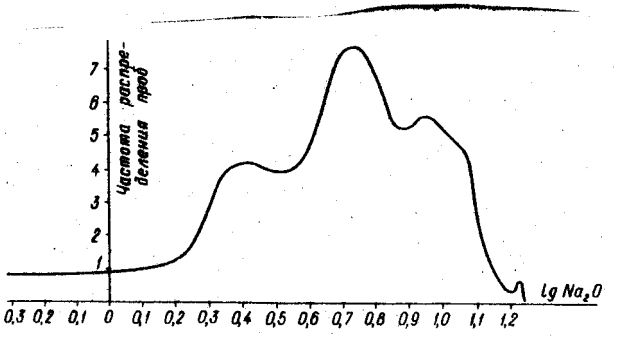



Рис. II. Распределение логарифмов содержания $Na_2O$ по пробам углей Новомосковского месторождения ($n$ = 615)



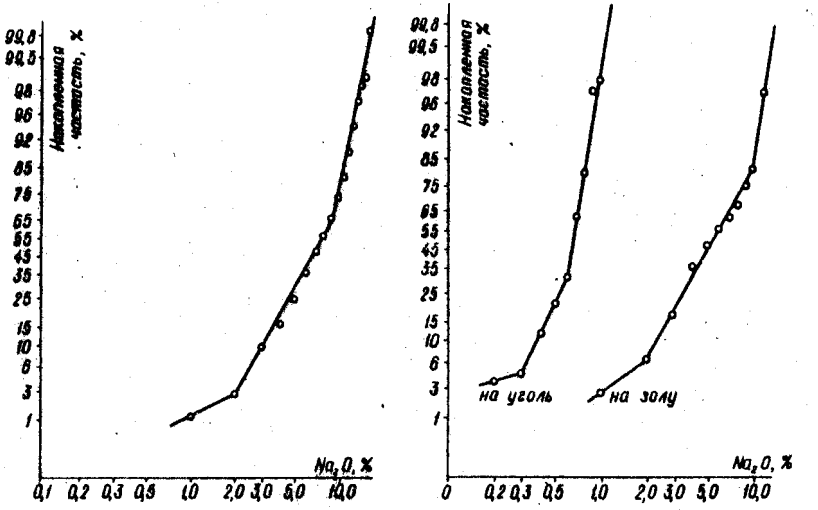



Рис. I2. Распределение содержания $Na_2O$ в золе по пробам углей Новомосковского месторождения ($n$ = 615): $M_x$ – математическое ожидание (0,635); $D$ – дисперсия (0,1057); $G = \sqrt{D}$ – среднее квадратичное отклонение (0,3251); $A(x)$ – асимметрия (-0,8372); $E$ – эксцесс (0,4375)

Рис. I3. Распределение содержания водорастворимого натрия по пробам углей поля шахты 2 (данные водных вытяжек по 107 пробам)

Прямое исследование распределения сорбционной и терригенной золы по данным их обогатимости [117] показало, что логнормальное распределение характерно для сорбционной золы, в связи с чем в бурых углях, в которых она преобладает, распределение общей зольности лучше соответствует логнормальному закону, чем в каменных. Это связано с частичным выносом в процессе углефикации золообразующих компонентов и, в первую очередь, водорастворимых солей. Таким образом, соответствие распределения общей зольности углей Новомосковского месторождения логнормальному акону, предполагающему преобладание в них сорбционной золы, свидетельствует о том, что, благодаря невысокой степени метаморфизма углей и застойному гидрогеологическому режиму, здесь не создается благоприятных условий для ее выноса.

Обратная зависимость содержания натрия в золе с зольностью (рис. I0) указывает на связь его с органическим веществом угля. Используя упрощенную схему, предложенную Я.Э.Юдовичем и Ю.Г.Шастневич [119], можно констатировать, что натрий связан в основном с сорбционной золой углей, количество которой не меняется с увеличением

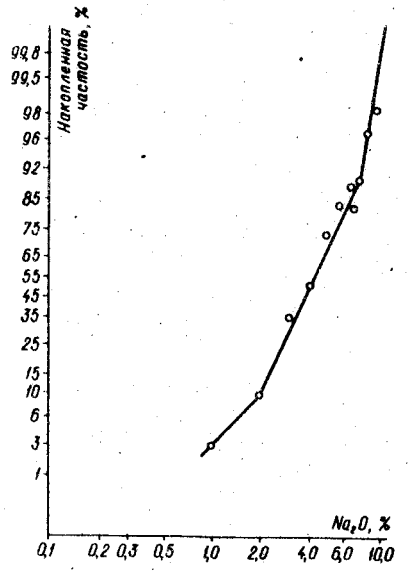



Рис. I4. Распределение содержания $Na_2O$ в золе по пробам углей пласта $k_2^H$ Богдановского месторождения ($n$ = 66)

зольности, а другие виды золы разбавляют исходное содержание элемента. Это подтверждается высокой отрицательной связью с зольностью содержания натрия на золу (коэффициент корреляции (-0,660) для I08 определений при надежности вывода более 0,999) наряду с отсутствием корреляции с ней натрия, рассчитанного на сухой уголь - коэффициент корреляции (-0,999).

Распределение натрия в угле также подчиняется логнормальному закону, что геохимически интерпретируется как доказательство его накопления в стадию торфяника, ибо, как отмечает Я.Э.Юдович /II4/, нормальный сингенетический процесс проявляется в логнормальном характере распределения элементов-примесей, а отклонения от логнормального распределения связаны с влиянием наложенных процессов. Причем это распределение в отличие от распределения зольности представляет собой результат смешивания в разных соотношениях трех генеральных совокупностей с разными параметрами (рис. II). На диаграмме распределения они проявляются по изломам прямых (рис. I2). О существовании независимых генераций натрия свидетельствуют характеристики распределения (левосторонняя асимметрия и островершинность кривой распределения, см. рис. I2), рассчитанные в соответствии с рекомендациями руководства /90/. Все генерации натрия связаны с его водорастворимой частью, составляющей 60 - I00 % общего натрия и определяющей характер его распределения. Это подтверждается тем, что распределение водорастворимого натрия подчиняется той же закономерности (рис. I3). Незначительное содержание натрия в первой генерации, не превышающее 3 - 5 %, позволяет предположить, что он входит в состав конституционной золы, происхождение которой связано с прижизненной аккумуляцией элемента растениями-торфообразователями. Вторая генерация натрия в данном случае составляет около 28 % и соответствует, очевидно, той его части, которая поступила в органическое вещество в стадию сингенеза и раннего диагенеза. Третья генерация связана, по-видимому, с натрием, который накопился в стадию позднего диагенеза, после прекращения торфонакопления вследствие трансгрессии моря.



Таблица I3. Расчет содержания натрия, эквивалентного и неэквивалентного хлору, %

| $Na_2O$ на уголь | | | Доля к общему натрию | |
|---|---|---|---|---|
| общий | эквивалентный | неэквивалентный | эквивалентного | неэквивалентного |
| 0,I0-0,20 | 0,I0-0,I6 / 0,I2 | 0,07-0,08 / 0,07 | 59,79 | 40,2I |
| 0,20-0,30 | 0,I7 | 0,I0 | 62,96 | 37,04 |
| 0,30-0,40 | 0,23-0,32 / 0,27 | 0,08-0,I4 / 0,II | 7I,I5 | 28,85 |
| 0,40-0,50 | 0,30-0,43 / 0,36 | 0,05-0,I3 / 0,I0 | 77,89 | 22,II |
| 0,50-0,60 | 0,39-0,56 / 0,49 | 0,02-0,I6 / 0,07 | 87,25 | I2,75 |
| 0,60-0,70 | 0,48-0,64 / 0,55 | 0,04-0,I9 / 0,II | 83,63 | I6,37 |
| 0,70-0,80 | 0,54-0,73 / 0,64 | 0,04-0,I7 / 0,I0 | 86,53 | I3,47 |
| 0,80-0,90 | 0,65-0,84 / 0,72 | 0,05-0,I8 / 0,I3 | 85,96 | I4,04 |
| I,00-I,I0 | 0,8I | 0,I2 | 87,I0 | I2,90 |
| I,I0-I,20 | 0,84-0,85 / 0,84 | 0,26-0,27 / 0,27 | 76,I3 | 23,87 |

Подобный вид имеет распределение натрия в углях пласта $k_2^H$ Богдановского месторождения (рис. I4), что указывает на сходные условия его накопления в углях Западного и Северного Донбасса.

Как показали результаты исследования I07 водных вытяжек, среднее количество водорастворимого натрия в угле составляет 76 %. Причем количество натрия выше отношений, эквивалентных для $NaCl$, в среднем на I7,6 %. Абсолютное содержание натрия, неэквивалентного хлору, примерно постоянно во всем диапазоне содержаний общего натрия, незначительно увеличиваясь в интервале более I,I0 % (табл.I3, рис.I5). Поэтому его доля в угле с небольшим содержанием общего натрия (меньше 0,4 %) возрастает до 30 - 40 % (рис.I6). Количество натрия, эквивалентного хлору, монотонно возрастает с увеличением содержания общего натрия (см. рис. I5).

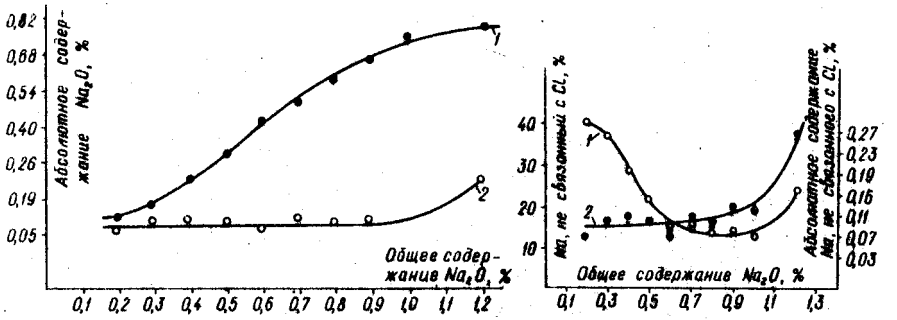



Рис. I5. Содержание в угле натрия:
I – эквивалентного хлору; 2 – неэквивалентного хлору

Рис. I6. Содержание в угле натрия, неэквивалентного хлору (2) и его доля от общего содержания натрия (I)

Распределение хлора в угле аналогично, т.е. подчиняется логнормальному закону и состоит из трех генераций (рис. I7). Источники его поступления, по-видимому, те же.По данным С.М.Манской и Т.В.Дроздовой /63/, хлор в форме неорганических соединений содержится во всех растениях, кроме хвойных. Поэтому его первая генерация может быть связана с поступлением из растений-торфообразователей; вторая и третья соответствуют тем его количествам, которые поступили из морской воды в стадию седиментодиагенеза.

Натрий, неэквивалентный хлору, входит, вероятно, в поглощающий комплекс органического вещества углей, образуя гуматы. Натрий, количество которого компенсируется хлором, связан с витринизированным веществом силами физической сорбции и отчасти,по-видимому, находится в поровых растворах. Этим можно объяснить тот факт, что натрий в виде галита не был обнаружен ни петрографическими исследованиями, ни физическими методами (рентгеноструктурным анализом и ядерно-магнитным резонансом).

Коэффициент корреляции натрия ( $Na_2O$ на сухой уголь) с влажностью, определенный по I07 образцам угля для поля шахты 2, невысок (0,2I2) и косвенно свидетельствует, видимо, о том, что подземные воды из-за застойного режима фактически не играют в настоящее время значительной роли в обменных процессах в системе вода – уголь.

Определение наличия связи натрия с серой показало, что между их содержанием нет корреляционной зависимости. Парный коэффициент корреляции, рассчитанный для I97 определений, составил (-0,02). Такие же низкие коэффициенты корреляции – от (-0,09) до (-0,I9) – получены при расчете зависимости содержания натрия и серы по видам



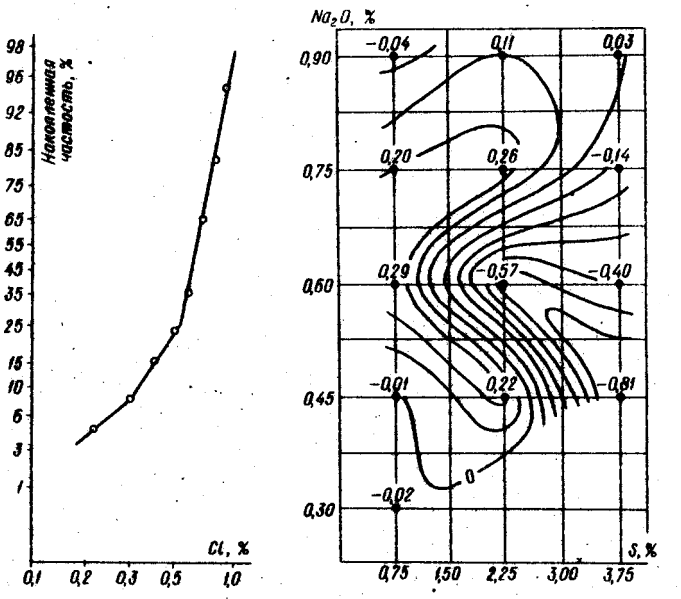



Рис. I7. Распределение содержания хлора по пробам углей поля шахты 2 (данные водных вытяжек по I07 пробам)

Рис. I8. Корреляционная зависимость между количеством натрия и общей серы по разным интервалам их содержания (данные водных вытяжек по I07 пробам)

(для 35 определений). Работами ДО ИМР /69/ также не установлена закономерность в распределении серы по площади пласта $C_7$, а количество $Na_2O$ в золе при любой сернистости углей значительно изменяется. Однако по максимальным и средним значениям количество натрия уменьшается при содержании общей серы более 3 %. Это подтверждается и нашими данными, полученными предложенным А.А.Деревицким способом, который заключается в следующем. Поле графика, по оси ординат которого нанесено содержание натрия, а по оси абсцисс – серы, разбивается поинтервально на квадраты. В каждый из них попадает известное количество точек, отвечающих определенному содержанию натрия и серы, для которых устанавливается коэффициент корреляции. Значение его выносится в центры соответствующих квадратов. По нанесенным значениям коэффициентов корреляции строятся изолинии, что позволяет выявить интервалы содержания и отношения, в которых проявляется максимальная зависимость друг от друга изучаемых параметров. Полученная таким образом корреляционная зависимость между содержанием натрия и серы по разным интер-

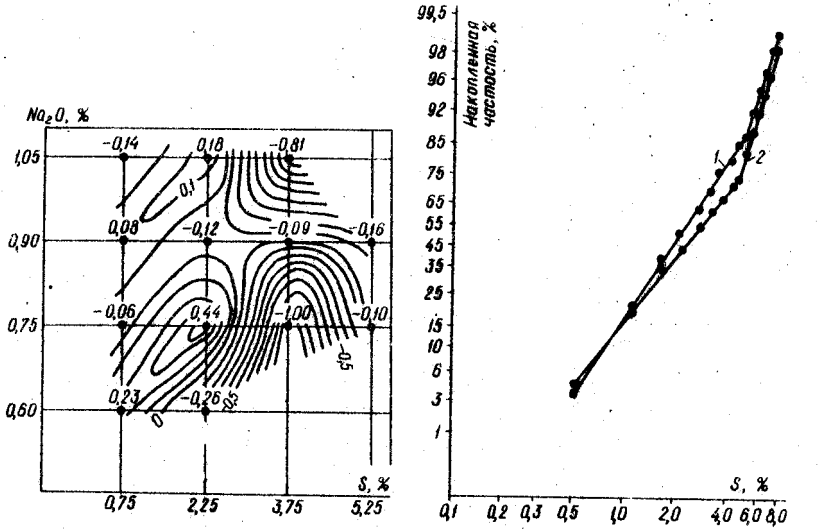



Рис. I9. Корреляционная зависимость между количеством натрия и серы по разным интервалам их содержания (по пробам углей поля шахты 4, $n$ – 22I)

Рис. 20. Распределение содержания общей серы по 495 пробам углей Новомосковского месторождения (I) и по 22I пробе углей поля шахты 4 (2)

валам (рис. I8, I9), хотя и не дает четкой закономерности, но демонстрирует довольно ясно выраженную тенденцию проявления обратной связи между этими величинами при увеличении содержания серы (более 2 % для участка шахты 2 и более 3 % – шахты 4).

При изучении распределения натрия в углях Северного Донбасса /50/ констатировался параллельный рост содержания серы и натрия, что вполне закономерно, если они имеют общий источник, а именно морские воды, поступившие в область торфонакопления.

А.З.Юровский /I20/, Л.Я.Кизильштейн /48/ и другие установили, что основной источник образования серных компонентов в углях Донецкого бассейна – сульфаты морской воды, которые при определенных параметрах среды торфонакопления создают условия для бактериальной сульфатредукции. Полученное нами логнормальное распределение серы (рис. 20) также подтверждает преимущественное седиментодиагенетическое накопление серных компонентов в углях Новомосковского месторождения. Причем в отличие от хлоридов основное их количество поступило, очевидно, в стадию сингенеза и раннего диагенеза (до 77 – 89%).



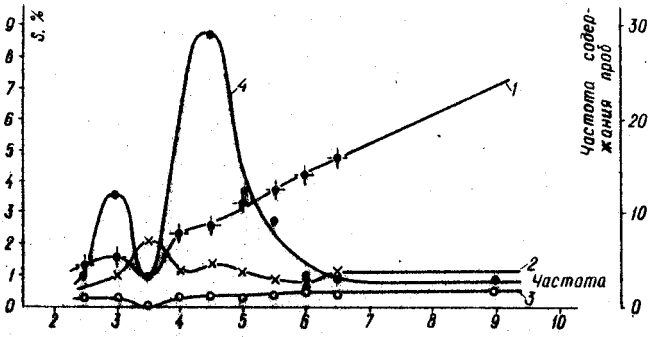



Рис. 2I. Распределение серы по видам в пробах угля поля шахты 4 ($n$ – 33):
I – пиритная; 2 – органическая; 3 – сульфатная; 4 – частота содержания проб

Хотя, по мнению А.З.Юровского, сульфаты в каменноугольные торфяники поступали систематически и количество их было избыточным, следует предположить, что после перекрытия торфяников слабопроницаемыми осадками фильтрация была затруднена и создавались лучшие условия для проникновения в них из морской воды хлоридов, так как последние, по данным Е.В.Посохова /80/, диффундируют быстрее, чем сульфаты.

Сульфиды, являющиеся основной формой серы в углях Западного Донбасса (рис. 2I; см. табл. I0), образуются в довольно узком диапазоне параметров среды (pH больше 6,5; $Eh$ от +II5 до (–450)мВ), которые обеспечивают нормальную жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий и оптимальные условия термодинамической устойчивости сероводорода. Степень восстановленности режима и реакция среды торфонакопления на территории Новомосковского месторождения были благоприятны для синтеза сульфидов.

Кроме того, для образования сульфидов необходимо железо, поступающее в бо. это с пресными водами (почвенно-грунтовыми, аллювиальными и атмосферными осадками). Основным источником железа на изучаемой территории были речные воды, оставившие свой след в широком развитии дельтовых образований. Но это поступление не было, очевидно, достаточно равномерным и контролировало процесс формирования сульфидов.

Масштабы сульфатредукции зависят также от количества легкоусвояемых органических соединений, образованных в результате деятельности сапрофитов, в связи с чем пирит локализуется в зонах распада органического вещества.

Таблица I4. Матрица парных коэффициентов корреляции зольности и химических компонентов золы

| Компонент | $A^c$ | $SiO_2$ | $K_2O$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $P_2O_5$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A^c$ | I,00 | 0,64 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | -0,I3 |
| $SiO_2$ | 0,64 | I,0 | 0,8I | 0,66 | 0,82 | -0,I6 |
| $K_2O$ | 0,54 | 0,82 | I,00 | 0,66 | 0,56 | -0,I4 |
| $TiO_2$ | 0,50 | 0,66 | 0,66 | I,00 | 0,66 | -0,25 |
| $Al_2O_3$ | 0,46 | 0,82 | 0,56 | 0,66 | I,00 | 0,I8 |
| $P_2O_5$ | -0,I3 | -0,I6 | -0,I4 | -0,25 | 0,I8 | I,00 |
| $Fe_2O_3$ | -0,I7 | -0,59 | -0,44 | -0,50 | -0,44 | 0,04 |
| $CoO$ | -0,49 | -0,60 | -0,57 | -0,52 | -0,35 | 0,05 |
| $MgO$ | -0,56 | -0,48 | -0,39 | -0,43 | -0,09 | -0,09 |
| $SO_3$ | -0,66 | -0,88 | -0,75 | -0,68 | -0,53 | 0,0 |
| $Na_2O$ | -0,66 | -0,72 | -0,58 | -0,58 | -0,26 | 0,09 |

| Компонент | $Fe_2O_3$ | $CoO$ | $MgO$ | $SO_3$ | $Na_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $A^c$ | -0,I7 | -0,49 | -0,56 | -0,66 | -0,66 |
| $SiO_2$ | -0,59 | -0,60 | -0,48 | -0,88 | -0,72 |
| $K_2O$ | -0,44 | -0,57 | -0,39 | -0,75 | -0,58 |
| $TiO_2$ | -0,50 | -0,52 | -0,43 | -0,68 | -0,58 |
| $Al_2O_3$ | -0,44 | -0,35 | -0,09 | -0,53 | -0,26 |
| $P_2O_5$ | 0,04 | 0,05 | -0,09 | 0,00 | 0,09 |
| $Fe_2O_3$ | I,00 | -0,04 | -0,I4 | 0,36 | 0,07 |
| $CoO$ | -0,04 | I,00 | 0,58 | 0,72 | 0,6I |
| $MgO$ | -0,I4 | 0,58 | I,00 | 0,59 | 0,7I |
| $SO_3$ | 0,36 | 0,72 | 0,59 | I,00 | 0,75 |
| $Na_2O$ | 0,07 | 0,6I | 0,7I | 0,75 | I,00 |

Итак, концентрация и распределение серы контролируются не только геологическими условиями, но и экологической обстановкой, наличием питательных веществ и т.д. И хотя сернистость и соленость угольных пластов определяется ландшафтными условиями торфонакопления, на территории Новомосковского месторождения, по-видимому, проявились факторы, лимитирующие сульфидообразование. Помимо отмеченных, одним из факторов, нарушающих выражение связи между изучаемыми параметрами, является, очевидно, метаморфизм. По данным Л.Я.Кизильштейна [48], региональный метаморфизм заметно не изменяет содержание серы в угольных пластах. Распад сернистых соединений в углях начинается при температурах, превышающих 600 °С, т.е. более высоких по сравнению с те-



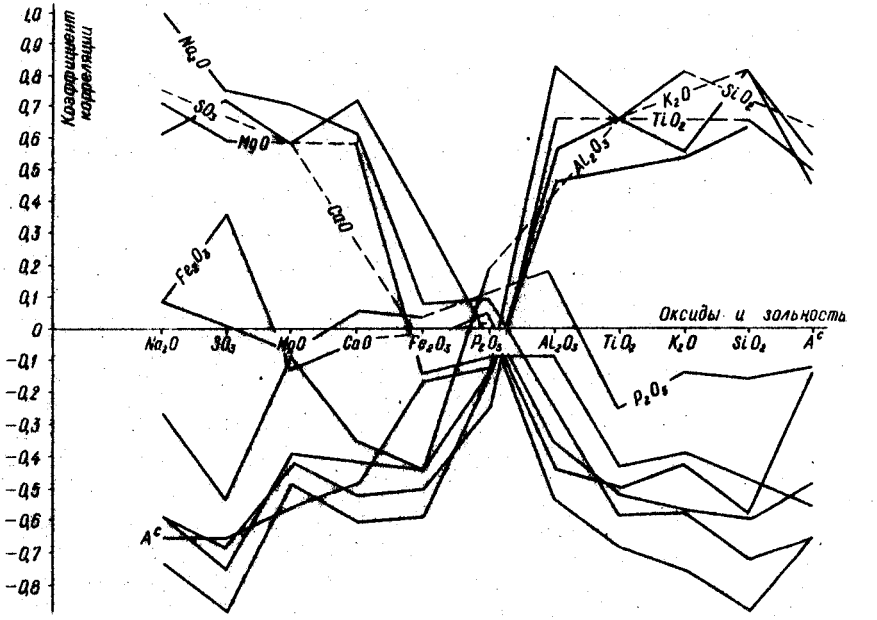



Рис. 22. Корреляционные профили зольности и основных золообразующих оксидов

ми, которые можно предполагать при углефикации в естественных условиях. Обессоливание же в значительной степени контролируется факторами метаморфизма.

Для изучения золообразующих компонентов использовался метод корреляционных профилей [52а, 70]. Он заключается в том, что значения коэффициентов корреляции для данной случайной величины откладываются по оси ординат, а по оси абсцисс – номера случайных величин. Совокупность точек, соединенных на графике, образует корреляционный профиль данной случайной величины. В процессе исследования на график наносятся корреляционные профили для других случайных величин, которые образуют группы согласующихся друг с другом профилей. Таким способом при анализе матрицы коэффициентов корреляции зольности и химических компонентов золы (табл. I4) определены геохимические ассоциации золообразующих компонентов, которые выделились на графиках отдельными группами корреляционных профилей, согласующихся или несогласующихся с профилями зольности (рис. 22). В результате выявлены три геохимические ассоциации золообразующих компонентов различного генезиса. Первая из них ($SiO_2$, $K_2O$, $TiO_2$, $Al_2O_3$) характеризуется корреляционными

профилями, согласующимися с профилем зольности, и высокими положительными коэффициентами корреляции с количеством золы. Эти компоненты накапливались в результате привноса терригенного материала в формирующийся пласт. Для второй ($CaO$, $MgO$, $SO_3$, $Na_2O$) характерны корреляционные профили, являющиеся почти зеркальным отражением кривой зольности, а также высокие отрицательные коэффициенты корреляции указанных компонентов золы с ее содержанием. Их следует относить к сорбированным из водных растворов в стадию седиментодиагенеза и связанным с органическим веществом угля. Такие элементы Я.Э.Юдович [114] назвал типоморфными. Третья ассоциация ($Fe_2O_3$, $P_2O_5$) имеет корреляционные профили, несколько отличающиеся от профилей второй геохимической ассоциации. Входящим в нее оксидам свойственны небольшие коэффициенты корреляции с зольностью и некоторыми другими компонентами. Эта ассоциация, очевидно, связана с аутигенным образованием карбонатов и сульфидов.

Как видно из приведенного материала, натрий и калий имеют различное происхождение, что подтверждается и отсутствием корреляционной связи между их содержанием в сухом угле: коэффициент корреляции, рассчитанный по 108 определениям, составляет (-0,001). Если натрий в основном водорастворимый и легко возгоняется при сжигании угля, то калий связан с тугоплавкими алюмосиликатами и не является с точки зрения шлакующих свойств золы вредной примесью. К такому же заключению на основании изучения результатов водных вытяжек пришли сотрудники ДО ИМР [69].

Весьма важными параметрами при выборе, проектировании и эксплуатации котлоагрегатов являются плавкостные характеристики, в частности температура плавкости золы, определяющая температуру начала жидкого шлакоудаления. Они зависят, как показали многочисленные исследования, от химического состава золы. Но этот вопрос еще не является решенным, так как мнения о роли тех или иных ее составляющих весьма противоречивы. В ряде работ рассматривается связь вязкостных и плавкостных характеристик золы с содержанием в ней кислых и основных оксидов, только основных, зольности. Причем, как отмечает В.И.Барышев [7], при подсчете коэффициентов температурных характеристик золы различными авторами оксиды щелочных металлов ($Na_2O$, $K_2O$) и железа ($Fe_2O_3$) включаются в число либо кислых, либо основных (щелочноземельных) составляющих золы, в связи с чем предложенные ими разработки не могут быть применены для всей гаммы твердых энергетических топлив. В работах, посвященных изучению углей Канско-Ачинского бассейна, указанные характеристики золы связываются с содержанием оксидов кальция и кремния, которые в определенных соотношениях могут образовывать



легкоплавкие эвтектики, определяющие плавкостные характеристики золы [67, 111].

Некоторые исследователи предложили расчетные методы определения температурных характеристик золы по данным химического анализа.

По методу Пробста [16] в расчет берется содержание кислорода, связанного в $SiO_2$, $Fe_2O_3$, $Al_2O_3$, $CaO$ и $MgO$ (% от золы). Графическое изображение предложенных зависимостей позволяет выразить температуру плавкости золы следующей формулой (в $^{\circ}C$):

$$t_{пл} = 1200 + 100\,A/B, \quad \text{где} \quad A/B = (O_{SiO_2} \cdot O_{Fe_2O_3+CaO+MgO})^{1/2}_{Al_2O_3}. \quad (4)$$

Попытки рассчитать температуры плавкости золы не только соленых, но и углей, не содержащих оксидов щелочных металлов, показали, что данный метод дает чрезвычайно большие расхождения с фактическими температурами. Наибольший интерес представляют работы, в которых при подсчете соответствующих характеристик учитываются щелочные компоненты [7, 16]. В.И.Барышев [7] предложил метод определения температуры плавкости золы ($t_2$ и $t_3$) и начала нормального жидкого шлакоудаления ($t_{н.ж}$) с учетом всех составляющих золы, количество которых пересчитано на бессульфатную массу, так как в полувосстановительной газовой среде при температуре 1 000 – 1 050 $^{\circ}C$ $SO_3$ практически полностью удаляется и данная составляющая не влияет на температурные характеристики золы. Температуру плавкости рекомендуется находить по графику зависимости скорректированных температур плавкости от коэффициента $K$ ($K = SiO_2 + Al_2O_3 - CaO - MgO, \%$) и затем вносить поправку на плавни (оксиды щелочных металлов и железа), снижающие в полувосстановительной среде температурные характеристики золы. Расчет, проведенный по данному методу для соленых углей, также дал в полученных результатах значительные расхождения с фактическими температурами плавкости золы.

Для установления связи плавкостных характеристик золы с химическим составом целесообразно составлять уравнения регрессии по отдельным оксидам, слагающим золу. Уравнения регрессии были получены с помощью программы пошагового анализа на ЕС ЭВМ. Анализировалась линейная модель корреляционной зависимости температуры плавкости золы углей Новомосковского месторождения Западного Донбасса от ее химического состава. Последовательный пошаговый просмотр влияния компонентов химического состава золы на температуру ее плавкости по 79 наблюдениям позволил на шестом шаге получить корреляционную зависимость температуры плавкости золы от ее химического состава в виде уравнения

$$t_3\,(^{\circ}C) = 2105 - 10,45\,SiO_2 - 22,5\,CaO - 7,09\,Fe_2O_3 - 29,49\,K_2O - 9,85\,Na_2O - 32,11\,O_2 \quad (5)$$

Таблица I5. Матрица парных коэффициентов корреляции температуры плавкости с химическими компонентами золы

| Переменная величина | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | $CaO$ | $MgO$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | I,000 | 0,700 | -0,50I | 0,7I8 | -0,4I8 | -0,386 |
| $Al_2O_3$ | 0,700 | I,000 | -0,64I | 0,547 | -0,06I | -0,I30 |
| $Fe_2O_3$ | 0,50I | -0,64I | I,000 | -0,399 | -0,494 | -0,308 |
| $TiO_2$ | 0,7I8 | 0,548 | -0,399 | I,000 | -0,335 | -0,368 |
| $CaO$ | 0,4I8 | -0,06I | -0,494 | -0,335 | I,000 | 0,722 |
| $MgO$ | 0,386 | -0,I30 | -0,380 | -0,368 | 0,722 | I,000 |
| $P_2O_5$ | 0,06I | 0,097 | -0,058 | -0,03I | 0,048 | 0,020 |
| $SO_3$ | 0,760 | -0,562 | -0,065 | -0,536 | 0,690 | 0,594 |
| $K_2O$ | 0,377 | 0,257 | -0,308 | 0,40I | -0,I74 | -0,049 |
| $Na_2O$ | 0,383 | -0,I07 | -0,477 | -0,I95 | 0,769 | 0,4I0 |
| $t_з$ | 0,4I9 | -0,28I | 0,3I9 | -0,268 | -0,079 | 0,093 |

| Переменная величина | $P_2O_5$ | $SO_3$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | $t_з$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 0,06I | -0,760 | 0,377 | -0,383 | -0,4I9 |
| $Al_2O_3$ | -0,097 | -0,562 | 0,257 | -0,I07 | -0,28I |
| $Fe_2O_3$ | -0,058 | -0,065 | -0,308 | -0,477 | 0,3I9 |
| $TiO_2$ | -0,03I | -0,536 | -0,40I | -0,I95 | -0,268 |
| $CaO$ | 0,048 | 0,690 | -0,I74 | 0,769 | -0,079 |
| $MgO$ | 0,020 | 0,594 | -0,049 | 0,4I0 | 0,093 |
| $P_2O_5$ | I,000 | -0,I07 | -0,I02 | -0,0I6 | -0,I6I |
| $SO_3$ | -0,I07 | I,000 | -0,I42 | 0,696 | 0,3I2 |
| $K_2O$ | -0,I02 | -0,I42 | I,000 | -0,I26 | -0,I89 |
| $Na_2O$ | -0,0I6 | 0,696 | -0,I26 | I,000 | 0,0I5 |
| $t_з$ | -0,I6I | 0,3I2 | -0,I89 | 0,0I5 | I,000 |

при множественном коэффициенте корреляции $r = 0,63$ и стандартной ошибке прогноза $\sigma = 62,6^0$.

Так как степень влияния каждого компонента соответствует его месту в уравнении регрессии, можно заключить, что наибольшее влияние на температуру плавкости оказывают оксиды кремния, кальция, железа, щелочных металлов и фосфора. Судя по матрице парных коэффициентов корреляции (табл. I5), с увеличением в золе содержания железа и натрия возрастает ее температура плавкости, с увеличением количества кремния, кальция, калия и фосфора она уменьшается. Вклад в регрессию



Таблица I6. Сравнение фактических температур плавкости золы углей Новомосковского месторождения о температурами, рассчитанными различными методами по ее химическому составу

| Показатель | Образец | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Химический состав, % | | | | | |
| $SiO_2$ | 57,95 | 3I,65 | 5,85 | I3,50 | 32,50 |
| $Al_2O_3$ | 8,69 | I3,33 | 7,30 | 7,94 | 9,37 |
| $Fe_2O_3$ | I7,I0 | 33,I3 | 28,II | 55,70 | 25,I3 |
| $TiO_2$ | 0,20 | 0,48 | 0,I5 | 0,4I | 0,55 |
| $CaO$ | 3,95 | 6,72 | I5,25 | 5,26 | 8,52 |
| $MgO$ | I,90 | 2,48 | 8,78 | 2,08 | 2,78 |
| $P_2O_5$ | 0,5I | 0,I8 | 0,29 | 0,I4 | 0,I5 |
| $SO_3$ | 5,3I | 5,45 | 30,I3 | 8,34 | I0,I6 |
| $K_2O$ | 0,75 | 0,93 | 0,62 | 0,93 | 0,88 |
| $Na_2O$ | 3,50 | 5,00 | 4,0I | 5,80 | 9,00 |
| Температура плавкости, $^0C$ | | | | | |
| фактическая | I 3I0 | I 250 | I 460 | I 390 | I 320 |
| рассчитанная по уравнению (5) | I 228 | I 3I2 | I 435 | I 364 | I 282 |
| по уравнению (4) | 2 400 | I 740 | I 640 | 2 200 | 2 I89 |
| по уравнению (7) | I I72 | I I04 | 854 | I 0I3 | I 023 |
| по В.И.Барышеву | I I24 | 9I2 | I 042 | 669 | 935 |

остальных переменных $Al_2O_3$, $TiO_2$, $MgO$, $SO_3$ незначителен и может не учитываться.

Подобный расчет применяется в США для оценки температуры плавкости золы [29]. Предложенные формулы имеют следующий вид:
для лигнитовых углей

$$t_з(^0F) = 2326 - 8,9SiO_2 + 0,1Al_2O_3 - 4,3Fe_2O_3 - 128TiO_2 + 3,5P_2O_5 + 8,5CaO + 14,0MgO - 8,7Na_2O + 80K_2O - 5,1SO_3; \quad (6)$$

для каменных углей

$$t_з(^0F) = 11,84 + 12,1SiO_2 + 18,8Al_2O_3 + 7,2Fe_2O_3 + 83TiO_2 + 2CaO - 11,8MgO - 73,7Na_2O - 22,3K_2O. \quad (7)$$

Сравнение результатов, полученных разными методами (табл. I6), свидетельствует, что предложенное уравнение (5) позволяет значительно точнее определять температуры плавкости золы по данным ее химического анализа, чем другими методами. Расхождение в результатах, полученных по уравнениям (5) и (7), следует объяснить не только иным

характером взаимосвязи между плавкостными и химическими параметрами золы углей разных месторождений, но и влиянием систематических погрешностей. Предложенным способом можно рассчитать и другие характеристики плавкостных свойств золы.

Принцип составления уравнений регрессии для установления корреляционной зависимости характеристик плавкостных свойств золы углей от состава золообразующих компонентов можно применять для каждого конкретного месторождения, а полученные уравнения использовать для сокращения объема лабораторных исследований.

## ГЕНЕЗИС СОЛЕНЫХ УГЛЕЙ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Данные по геологическому строению Новомосковского месторождения, фациальным условиям накопления угленосных отложений и геохимическим особенностям углей и вмещающих их пород дают возможность сделать некоторые выводы о генезисе соленых углей.

По этому вопросу существуют две концепции: эпигенетического [69] и седиментодиагенетического засоления углей [43 - 45].

Согласно первой из них, предложенной С.Д.Пожидаевым, засолялся уже сформировавшийся уголь под влиянием растворов седиментационного происхождения при проникновении их в угольные пласты по трещинам. Он отвергает возможность засоления в торфяную стадию в связи с непроницаемостью торфяника для морских вод: "Проникновение его (хлористого натрия. - А.И.) в органогенный материал становилось возможным лишь после превращения торфа в уголь... отложение хлористого натрия в торфяную стадию и после трансгрессии моря на площадь торфонакопления из морской воды в сколько-нибудь значительных количествах по ряду причин исключается..." [69, с. 47]. Галофиты же с высокой концентрацией солей "не могли быть источником растительной массы торфяников карбона в Донбассе..." [там же].

Проникновение солей по тектоническим трещинам и нарушениям подтверждается, по мнению этого исследователя, отсутствием прямой связи между содержанием натрия в углях с наличием песчаников среди вмещающих пород, а также фоновым количеством натрия в угольных шлифах. Последнее объясняется тем, что пористость углей Новомосковского месторождения "не позволяет проникать $Na_2O$ в угли через стенки тектонических трещин на сколько-нибудь значительное расстояние" [там же, с. 49]. Высокое содержание соли наблюдается лишь в бурых и каменных наименее метаморфизованных углях; газовые угли Донбасса не способны в значительных количествах сорбировать соли из водных растворов.

С.Д.Пожидаев полагает, что "если бы содержание хлористого натрия в углях определялось инфильтрацией морских вод в торфяники, то содержание $Na_2O$ в золе углей закономерно увеличивалось бы в направлении открытого моря, и Новомосковское месторождение в этом

случае характеризовалось бы наиболее низким содержанием солей" /там же, с. 48/. Таким образом, он делает вывод о постседиментационном и постдиагенетическом поступлении хлористого натрия в вещество угля, отвергая возможность засоления его как в торфяную, так и в стадию каменных углей, достигших степени метаморфизма выше длиннопламенных.

Иллюстрацией возможности проникновения соли в угли из морской воды служит, по мнению С.Д.Пожидаева, повышенное содержание хлора в углях прибрежно-морской зоны Англии.

В соответствии со второй гипотезой именно стадия седиментодиагенеза наиболее благоприятна для засоления органического вещества в связи с его высокой реакционной способностью и оптимальными условиями для контактирования и взаимодействия с поступающими химическими элементами.

Соли проникали в торфяник из внешних источников. В паралических бассейнах, в частности в Донбассе, таким источником была морская вода. Высокая степень разложения растительной массы в торфянике не могла явиться преградой для поступления в него более тяжелых соленых вод при трансгрессии моря. Анализ фациальных условий накопления угленосных отложений Западного Донбасса подтверждает, что морская вода оказывала большое влияние на органическое вещество торфяника и была основным источником поступления в него натрия и хлора (натрий и хлор второй и третьей генераций). Легкорастворимые соли растений-торфообразователей не играли заметной роли в засолении органического вещества, так как в значительной степени выносились в стадию торфяника. Количество натрия, поступившего с конституционной золой, в угле Новомосковского месторождения не превышает нескольких процентов общего содержания (натрий первой генерации).

Принадлежность натрия совместно с кальцием, магнием и серой к сорбционным минеральным компонентам, образованным из водных растворов в сингенетическую стадию, логнормальное распределение натрия и хлора, преимущественное накопление натрия в витрините и отсутствие признаков связи с другими микрокомпонентами подтверждают, что засоление произошло в стадию торфяника (сингенеза - раннего диагенеза для второй генерации и позднего диагенеза для третьей).

Отсутствие связи солености с разрывными нарушениями не несет однозначной генетической информации. То обстоятельство, что контактирующие с песчаником угли меньше засолены, легко объясняется с позиции концепции седиментодиагенетического засоления.

Та или иная степень обогащения органического вещества хлоридами зависит как от ландшафтных условий торфонакопления, определяющих начальный уровень засоления, так и от наложенных процессов, ведущих



к обессоливанию углей, которое в постинверсионную стадию жизни бассейна тесно связано с тектоническим режимом.

Основной фактор обессоливания - метаморфизм, ведущий к обуглероживанию вещества угля и удалению с поровыми и метаморфогенными водами, а также отщепляющимися реакционноспособными функциональными группами химических элементов, поступивших в него в торфяную стадию. До наступления стадии, соответствующей жирным углям, вместе с периферийными радикалами отщепляется натрий, связанный с гуминовыми кислотами. Потери хлоридов с водой, которая при метаморфизме продолжает выделяться на всех стадиях вплоть до перехода антрацита в графит, могут происходить в зависимости от степени первоначального засоления из углей всего ряда метаморфизма. При значительном обогащении органического вещества хлоридами (ориентировочно более I,7 %) они могут сохраниться в углях вплоть до антрацитовой стадии. Поэтому наличие хлоридов характерно не только для малометаморфизованных углей, как полагают сторонники постдиагенетического засоления. С их позиций это обстоятельство нельзя объяснить, и наоборот, его легко истолковать при допущении засоления углей в торфяную стадию.

Обессоливающее действие метаморфизма на угли Западного Донбасса хорошо иллюстрируется изменением степени солености углей пласта $c_7^1$ от Новомосковского до Павлоградско-Петропавловского районов и результатами прямых определений содержания натрия в углях одного петрографического состава, но разной степени углефикации.

Специфика поведения углей в условиях регионального метаморфизма определяет зависимость обессоливания и его степень от тектонического режима, которым контролируется изменение физических и реологических свойств углей, возникновение в них пористости и трещиноватости, т.е. в конечном счете путей для выделения продуктов метаморфизма. Обессоливанию способствует и активный гидрогеологический режим, обеспечивающий вынос выделяющихся из углей продуктов.

Новомосковское месторождение, углевмещающие отложения которого содержат низкометаморфизованные угли и характеризуются застойным режимом подземных вод, находится, по сравнению с другими районами Западного Донбасса, в наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения возможностей обессоливания угольного вещества. Его высокоминерализованные застойные воды седиментационного генезиса не принимают участия в процессах обмена вода - уголь.

Таким образом, большинство из рассмотренных фактов, полученных при анализе геологического строения, фациальных особенностей накопления угленосных отложений и их геохимических особенностей, укладываются в представления, вытекающие из гипотезы засоления в стадию се-

диментодиагенеза. Этот вывод относится как к Западному, так и Северному Донбассу. Сохранение углями химических элементов, приобретенных в стадии торфяника, или их обессоливание связано с последующей эволюцией угольного вещества, которая определяется тектонической жизнью бассейна.

Исходя из этого, можно предположить следующее.

В раннекаменноугольную эпоху засоление торфов происходило повсеместно в полосе, приуроченной к северо-восточному склону Украинского щита и характеризующейся прибрежно-морскими условиями осадкообразования. Однако в дальнейшем в результате действия факторов метаморфизма и активного водообмена на территориях, где они проявились достаточно интенсивно, первоначально обогащенные натрием и хлором угли были обессолены. Западнее и северо-западнее Павлоградско-Петропавловского района угли в той или иной степени сохранили соленость в зависимости от конкретных геологических и гидрогеологических условий (Новомосковское и Петриковское месторождения).

В среднекаменноугольную эпоху, характеризующуюся накоплением на всей территории Донбасса морских и лагунно-континентальных осадков, торфы также могли засоляться в соответствии с создававшимися на определенных участках ландшафтными условиями. Образовавшиеся из них угли под влиянием термодинамических факторов были метаморфизованы и в дальнейшем восходящими движениями выведены на дневную поверхность, что привело к усиленному водообмену. Это должно было сопровождаться выносом солей натрия и обессоливанием углей открытого Донбасса. Соленые угли в отложениях среднего карбона сохранились лишь в северо-восточных и юго-западных бортовых частях бассейна, перекрытых мезо-кайнозойской толщей (Старобельская угленосная площадь и Миллеровский угленосный район Северного Донбасса, Новомосковское и Петриковское месторождения Западного Донбасса).

Обессоливание углей Донбасса должно было привести к освобождению значительного количества каменной соли и ее концентрации в других бассейнах. Общие геологические запасы углей Донецкого бассейна только до глубины I 800 м по пластам мощностью 0,3 м и выше составляют 24I млрд. т /20/. Массив донецкого палеозоя был, по мнению А.З.Широкова /20/, ко времени отложения триаса размыт не менее чем на 5–6 км. Если принять, что формирование Главной антиклинали как структуры началось после накопления никитовской свиты, то, вычитая из этой толщи суммарную мощность неугленосных отложений верхнего карбона, а также красно- и сероцветных образований картамышской и никитовской свит нижней перми, получим около 2,2 км размытой угленосной толщи. Считая коэффициент угленосности равным современному,



можно предположить, что обессоливанию подверглось еще 295 млрд. т угля. В соответствии с распределением углей по маркам в настоящее время из этих общих запасов (536 млрд. т) около 2I % составляли угли, переходные и длиннопламенные, 28 – газовые, 2I – от жирных до тощих, 29 % – полуантрациты и антрациты. При обессоливании их должно было выделиться более 8 млрд. т соли (в соответствии с табл. 3). Из вмещающих пород угленосной толщи, содержащей соли в 9 – II раз меньше, но имеющей объем, исходя из среднего коэффициента угленосности (около I %), в I00 раз больший, могло выделиться несколько десятков миллиардов тонн каменной соли.

По мнению Н.А.Игнатченко /46/, массовое выделение продуктов метаморфизма происходит в начале или в середине инверсии, которая, по мнению большинства исследователей Донбасса, произошла в конце раннепермской эпохи. В.С.Попов допускает, что "начало конседиментационного формирования такой основной структуры, как Главная антиклиналь, могло быть связано с более ранними движениями начала нижней перми" /20, с. II4/. М.Л.Левенштейн полагает, что "формирование Главной антиклинали как структуры началось лишь после накопления никитовской свиты и, вероятнее всего, даже после соленосной формации нижней перми" /20, с. 233/. Однако, скорее всего, начало инверсии относилось ко времени, предшествовавшему накоплению соленосных нижнепермских отложений или совпадало с ним. Хлориды, выделяющиеся при общем поднятии пород карбона, пополняли пермский эвапоритовый бассейн, расположенный в пределах Бахмутской котловины и восточной части Днепровско-Донецкой впадины, а также могли выноситься в восточном направлении на площадь современной Прикаспийской впадины. Здесь среди нижнепермских соленосных осадков можно, по мнению Л.П.Нестеренко /20/, встретить возрастные аналоги пермской соленосной свиты Донбасса.

Исследователи /I8, 37/, придерживающиеся десцендентной гипотезы, полагают, что на земном шаре широко развиты соленосные отложения, образовавшиеся в результате переотложения более древних соленосных пород. С этой точки зрения пермский бассейн, в котором хемогенно-галогенные отложения накапливались в период формирования складчатого сооружения Донбасса, сопровождающегося обессоливанием и разрушением слагающих его пород, является десцендентно-седиментационным. Образовавшиеся запасы солей соленосных свит перми, составляющие десятки миллиардов тонн, вполне соизмеримы с тем количеством хлорида натрия, который мог выделиться при обессоливании угленосных отложений донецкого карбона.

Соленые угли распространены и на площадях Днепровско-Донецкой впадины, примыкающих к территории Западного Донбасса. Это подтверждается работами геологов Новомосковской геологоразведочной экспедиции, обнаруживших соленые угли на Ливенско-Михайловской площади. Содержание $Na_2O$ в золе углей как нижнего, так и среднего карбона, залегающих на глубинах 560 – 1300 м, превышает несколько процентов, достигая иногда 12,4 – 13,5 %.

Изучение условий формирования соленых углей Донбасса дало основание предположить /43 – 45/, что месторождения таких углей могут быть обнаружены и в других районах Днепровско-Донецкой впадины. Недавно получены данные о наличии соленых углей на Абазовской площади, расположенной в центральной части впадины (Днепровском грабене). Уголь длиннопламенной (стадия I) поднят с глубины 3 866 м из отложений московского яруса. Он имеет следующие характеристики (в %): влажность 3,7; зольность 3,9; содержание летучих веществ 39,4; общей серы 1,29. Элементный состав угля следующий (в %); $C^r$ 78,9; $H^r$ 5,1; $N^r + O^r$ 16. Содержание $Na_2O$ в золе составляет 14,1 (0,55 % на уголь), хлора в угле 0,74 %.

Учитывая, что в пределах впадины имелись постоянные источники поступления щелочных металлов и хлора в торфяники (морская вода или галогенные образования девона и перми), следует предположить, что соленые угли можно встретить не только в отложениях карбона, но и мезо-кайнозоя.

Выводы, полученные в результате обоснования гипотезы синдиагенетического засоления углей и восстановления геохимической обстановки их образования, полезны и для решения других вопросов, связанных, например, с историей геотектонического развития Донбасса. Так, воздымание складчатого Донбасса, очевидно, относится не к заальской фазе /20/, а к более ранним тектоническим движениям, предшествующим образованию соленосных отложений нижней перми или сопровождающим этот процесс.

Формирование блоковых структур на территории Петропавловского района, в частности Самарского горста, относится, по всей видимости, не к предпозднесерпуховскому времени, как полагает Н.М.Заёзжев и др. /20/, а к раннесерпуховскому, так как Самарский горст проявился в рельефе уже при формировании угольного пласта $c_7$.

## ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛЕНЫХ УГЛЕЙ

Необходимость всестороннего изучения соленых углей в значительной степени определяется технологическими задачами, а именно тем обстоятельством, что использование их в энергетике встречает пока непреодолимые трудности. При их сжигании происходит шлакование паровых котлов, а также разрушение их металлических частей и теплоизоляционных карборундовых материалов в связи с высокой коррозионной активностью углей.

### Роль соединений щелочных металлов в образовании золовых отложений на поверхностях нагрева и коррозионные свойства соленых углей

Под влиянием высоких температур, развивающихся в топке при сжигании угля, и взаимодействия содержащихся в нем минеральных компонентов друг с другом последние испытывают различные превращения, налипая на трубах и зашлаковывая поверхности нагрева. Золовые отложения могут давать все неорганические компоненты углей, хотя поведение их различно и определяется уровнем и продолжительностью воздействия температуры, температурой топочных газов, летучей золы и поверхности нагрева, составом газовой атмосферы и скоростью газового потока, его запыленностью, величиной частиц топлива, их адгезионными и упругими свойствами, способом сжигания и т.д. /15, 55, 129, 145, 148 и др./. Как свидетельствует фактический материал, наиболее опасны по последствиям при сжигании содержащего их топлива несвязанные в алюмосиликаты щелочные металлы, особенно натрий. Калий, по данным ранее проведенных исследований /69, 147 и др./, почти полностью связан с тугоплавкими силикатами, которые нерастворимы в воде и не возгоняются при сжигании угля. Натрий же может находиться в составе легкоплавких соединений, в частности галита, температура плавления которого составляет 800 °С /16, 91/. Хлориды более летучи, чем сульфаты, однако относительно температуры их сублимации исследователи пока не пришли к однозначному решению, тем более что

она изменяется под влиянием многих физико-химических параметров /89/. При развивающихся в топке температурах имеющийся в топливе хлористый натрий почти полностью сублимирует и в присутствии оксидов серы приводит к образованию сульфата натрия /75/:

$$2NaCl\,(газ) + SO_2 + 1/2\,O_2 + H_2O \rightleftarrows Na_2SO_4\,(газ) + 2HCl. \qquad (8)$$

Не успевший прореагировать хлористый натрий и часть сульфата натрия, оставаясь в парообразном состоянии, будут конденсироваться на экранных и ширмовых поверхностях нагрева, а также на частицах летучей золы, увеличивая их липкость. В результате прилипание золовых частиц определяется не только наличием силовых полей поверхностных атомов, но и снижением вязкости золы, что понижает температуру начала шлакования. В частности, по данным ВТИ, для углей Новомосковского месторождения Западного Донбасса она составляет (при зольности 7,6 и 12 %) 750 – 850 °С, что значительно ниже температуры шлакования освоенных углей Донбасса (1 000 – 1 020 °С).

Золовые отложения обычно образуются в два этапа /39, 124, 130/. Из наиболее легкоплавких компонентов создается первичный тонкий слой, который содержит галит. Дальнейшее налипание частиц золы приводит к образованию более толстого, состоящего в основном из сульфатов наружного слоя. Вследствие диффузии его составляющих во внутренний слой путем реакций с диоксидом серы при повышении температуры окружающей среды галит постепенно переходит в тенардит. Таким образом, в результате сульфатизации, а также спекания образующиеся отложения упрочняются и их нельзя удалить обычными устройствами для очистки. Их образование ухудшает теплообмен и увеличивает температуру газов на выходе из топки, что снижает коэффициент полезного действия агрегата и в конечном итоге в результате интенсивного зашлаковывания выводит его из строя. По данным И.П.Эпика /112/, изучавшего влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов, наращивание связных отложений, приобретающих при прокаливании в атмосфере дымовых газов значительную механическую прочность, происходит непрерывно вплоть до полного забивания газоходов в противоположность рыхлым (сыпучим) образованиям, рост которых при достижении определенной толщины слоя прекращается. Причем, как отмечает А.А.Отс /75/, каждый цикл очистки вызывает прирост толщины плотного слоя.

Кроме интенсивного образования золовых отложений на поверхностях нагрева и их зашлаковывания соленые угли вызывают значительную коррозию металлов /75, 106, 130, 147/. По данным Э.П.Дика, при сжигании соленых углей Новомосковского месторождения наблюдается интенсивная коррозия стали 12Х1МФ, скорость которой увеличивается с ростом температуры металла и содержания хлористого натрия в топливе. Процесс коррозии протекает следующим образом /75/. Под влиянием хлоридов снижаются защитные свойства оксидных пленок, важнейшими компонентами которых в аустенитных сталях являются оксид и карбид хрома. В контакте с хлоридами процесс разрушения оксидных пленок идет по реакции

$$24\,NaCl\,(\text{твердый}) + 10\,Cr_2O_3 + 9O_2 \rightarrow 12\,Na_2CrO_4\,(\text{жидкий}) + 8CrCl_3\,(\text{газ}). \qquad (9)$$

Это надо учитывать при выборе методов очистки высокотемпературных поверхностей нагрева, используя способы, которые не нарушали бы защитных свойств оксидных пленок, способствуя коррозии.

Соединения хлора – активный ускоритель высокотемпературной коррозии, даже при содержании его менее 0,3 – 0,5 %. Опасно наличие хлора в топливе в количестве 0,5 % и более. Коррозионная активность хлоридов наблюдается, начиная с температуры 400 °С, и увеличивается в восстановительной среде /75/.

Сильное ускорение коррозии стали при наличии в минеральной части сланцев щелочных металлов отмечал И.П.Эпик /112/, объясняя их агрессивное действие образованием сложных сульфатов натрия и калия, плавящихся при низких температурах.

Содержащиеся в углях соединения щелочных металлов независимо от их количества, по данным А.Цинцена /102/, агрессивно влияют и на карборундовую теплоизоляцию труб. Предполагается, что в этом отношении важно не столько абсолютное содержание вредных примесей в топливе или золе, сколько само по себе их наличие.

## Химико-технологические критерии классификации углей по солености

Угли, содержащие соединения щелочных металлов, называют "засоленными", "сол ными", "с повышенной соленостью", "сольсодержащими", "низкосортными", "щелочными" и т.д. Наиболее распространен термин "соленые угли" /54, 55, 139 – 141/. К ним относят угли, которые содержат натрий и хлор в количествах, превышающих определенные величины. Однако общепринятых критериев отнесения углей к соленым нет.

Г.Леман /139/, исходя из требований практики и опыта сжигания, предлагает относить к соленым бурые угли, которые в золе, полученной прокаливанием угля при температуре 600 °С, содержат более 1 % $Na_2O$.

В соответствии с инструкцией к применению "Классификации запа-

сов месторождений твердого минерального топлива" на буроугольных месторождениях ГДР [132] бурый уголь делится на нормальный (менее 2 % $Na_2O$ в золе углей) и соленый (более 2 % $Na_2O$ ). С.Д.Пожидаев и др. [31, 69] считают целесообразным принять этот параметр за критерий разделения углей на нормальные и соленые. Они полагают, что, поскольку основным компонентом неорганической части углей являются гидрослюды, содержащие около I % $Na_2O$ , то при содержании в золе углей оксида натрия более 2 % последний может находиться в составе легковозгоняемых соединений, в частности галита.

По "Инструкции для бурого угля" [153] к соленым относятся угли с содержанием оксида натрия более 0,5 % на безводный уголь.В.Р.Клер и Э.П.Дик [55] относят к опасным по шлакованию угли, включающие более 0,3 % водорастворимого натрия. В США таким пределом служит содержание общего натрия более 0,4 % [33]. По данным ВТИ, предельная граница для существующих котлоагрегатов – 0,4–0,5 % общего натрия. Причем Э.П.Дик полагает, что для характеристики солености, кроме градации по натрию, должна быть введена градация по хлору, как принято в Англии, где выделяются пригодные для использования угли с содержанием хлора до 0,3 %, угли с содержанием хлора 0,3 – 0,5 %, использование которых затруднено, и непригодные для использования угли, содержащие более 0,5 % хлора [33]. Изложенное позволяет сделать вывод, что за предельное следует принимать содержание оксида натрия и хлора, составляющее 0,5 % на сухой уголь. Такой критерий солености, характеризующий количество засоляющего компонента в пересчете на уголь (а не на золу), позволяет надежнее и объективнее оценивать и сравнивать угли по солености, устанавливать закономерности их распространения. При пересчете на золу такие закономерности не обнаруживаются, так как зольность из-за своей изменчивости вуалирует истинную картину содержания изучаемого элемента в угле, что отмечал еще Я.Э.Юдович и др. [118].

По приведенному критерию угли Новомосковского месторождения, содержащие более 0,5 % $Na_2O$ на сухой уголь, соленые.

По данным Э.П.Дика [34], в США для характеристики склонности золы к загрязнению поверхностей нагрева используется следующий критерий:

$$R_f = (CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O) \cdot Na_2O / SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3 . \qquad (10)$$

При $R_f$ меньше 0,2 шлакующие свойства низкие; 0,2 – 0,5 – средние; 0,5 – I – высокие; больше I – очень высокие.

По критерию шлакующей способности угли Новомосковского месторождения Западного Донбасса, а также Богдановского Северного Донбасса обладают очень высокими шлакующими свойствами. Однако этот критерий, по мнению Э.П.Дика, применим лишь для золы с кислым составом.

Таким образом, в основу классификаций положены технологические критерии. Это разграничение не должно рассматриваться геологами как барьер, за пределами которого изучение углей якобы нецелесообразно. Для познания процесса засоления и эволюции обессоливания чрезвычайно важно исследование всей гаммы углей конкретного района от соленых до бессолевых.

## Перспективы использования соленых углей

Значительный опыт использования соленых углей накоплен за рубежом, где они достаточно широко распространены.

В Германии угли с высоким содержанием натрия в золе пытались сжигать в шихте, содержащей глину [100]; в Англии при сжигании углей, содержащих более 0,5 % хлора, добавляли каолин. При этом снижалась концентрация в них вредных примесей, которые частично переводились в тугоплавкие алюмосиликаты, не возгоняющиеся при развивающихся в топках температурах. Однако значительное снижение теплотворной способности топлива делает эти способы экономически невыгодными. Кроме того, использование присадок не устраняет коррозионного действия соленых углей на металл и теплоизоляционные материалы.

В дальнейшем в Германии пошли по пути разработки и создания котлоагрегатов, конструкция которых отвечала специальным требованиям [100]. Предусматривалось применение лотковых колосниковых решеток, продольно омываемых дымовыми газами ширмовых поверхностей нагрева из труб малого диаметра, свободно подвешенных пакетов, которые можно очищать, не прерывая работы котла, встряхиванием ударными устройствами или гидравлическим золоудалением, и поддержание определенного температурного режима, обеспечивающего производительную работу котла. В соответствии с этими требованиями были созданы агрегаты средней производительности, в которых сжигались бурые угли с содержанием $Na_2O$ в сыром угле до 0,7 – I,0 %. В связи с сильным загрязнением труб конвективных пароперегревателей они были остановлены, реконструированы и переведены на сжигание обычных кондиционных углей.

А.Лисснер и др. [142] рекомендуют для употребления соленых углей в котлах малой производительности со слоевым сжиганием использовать полугазовую топку с обратной подачей дымового газа и введением в него водяного пара. Однако принцип полугазовой топки с рецир-

куляцией дымового газа неприменим для топок с пылевидным сжиганием топлива /142/. Основное препятствие для использования соленых углей в котлоагрегатах большой мощности с пылеугольными топками – возникновение высоких температур в топочных камерах, вызывающих сублимацию содержащихся в углях хлоридов. Поэтому встал вопрос о создании новых конструкций топок, так называемого холодного горения /100, 146/. В котле новой конструкции, помимо применения в области высоких температур газа продольно омываемых поверхностей нагрева, характеризующихся более низкими скоростями образования отложений, предусматривались также сжигание топлива при возможно низкой температуре и максимально быстрое снижение температуры газов для предотвращения спекания золовых отложений. Сооруженный в соответствии с этими требованиями котел не дал удовлетворительных результатов, и дальнейшие работы по освоению соленых углей в Германии, по свидетельству Э.П.Дика, были прекращены.

Вопрос использования соленого угля месторождения Рогозно рассмотрен А.Лисснером и др./143/. Исследовался более соленый уголь нижнего пласта с точки зрения способности его к брикетированию и возможности сжигания в крупных котлоагрегатах. В результате пришли к выводу, что способность угля к брикетированию весьма посредственна, так как из-за значительного содержания гуматов кальция и натрия брикеты отличаются низкой водостойкостью. Кроме того, брикетируемость ухудшается с повышением сернистости, характерной для нижней части пласта. Авторы отрицают возможность сжигания угля в котлоагрегатах и не дают каких-либо рекомендаций относительно его использования.

В США соленые угли сжигаются в специально сконструированных агрегатах, имеющих определенные размеры топки, заданное положение поверхностей нагрева, большое количество обдувочных аппаратов для паровой очистки экранов и т.д. Как отмечает Г.Гренховд /29/, на одном из блоков электростанции, предназначенной для сжигания низкосортных лигнитов Северной Дакоты и Техаса, установлено 252 обдувочных аппарата. Иногда хороший эффект для удаления золы и шлака с топочных экранов достигается при использовании в обдувочных аппаратах вместо пара воды, но этот способ неприменим для очистки поверхностей пароперегревателей из-за возникновения термических напряжений в трубах. Трудности, которые не удается преодолеть конструкторскими решениями, заставляют изыскивать способы обессоливания углей. По данным Г.Гренховда /29, 130/, единственным известным методом удаления натрия из угля является ионообмен, который, однако, из-за неэкономичности недоступен для промышленного применения.



Таким образом, нет рациональных способов использования соленых углей и методов их очистки для получения облагороженного топлива, что подтверждает патентный поиск, проведенный сотрудниками ДО ИМР.

Решением этой проблемы в СССР занимаются организации, ведущие поиски, исходя из конкретных характеристик топлив. Для освоения углей Богдановского месторождения Северного Донбасса рекомендуется их сжигание в смеси с другими углями, рассматриваются также возможности создания нового оборудования и реконструкции действующих котельных установок для сжигания углей без очистки /33/. Для более соленых углей Новомосковского месторождения осуществляются поиски путей связывания натрия в топочном процессе для перевода его в тугоплавкие соединения. Для этого предполагается использовать различные флюсы, в том числе вмещающие породы, каолин и др. Проверяется возможность сжигания углей на действующем оборудовании в смеси с другими углями и создания котлоагрегатов специальной конструкции для прямого их использования в энергетике. Исследуется вероятность получения облагороженных топлив полукоксованием и изучаются возможные области использования образующихся в результате этого процесса продуктов (полукокса, газа и смолы). Разрабатываются методы газификации углей. Изучаются обогатимость углей по соли промывкой водой в стационарных условиях и возможность совмещения процессов обессоливания с гидротранспортировкой угля по трубопроводам /33, 101/.

Попытки использования соленых углей еще не позволяют окончательно оценить последствия их непосредственного сжигания в смеси с другими углями или флюсами, а также в котлоагрегатах специальной конструкции. Поэтому подобные исследования, в том числе для выявления возможности сжигания углей с минеральными добавками для перевода натрия в тугоплавкие алюмосиликаты, следует продолжать. С этой точки зрения целесообразно изучать состав вмещающих пород, а также выяснить возможность использования соленых углей в качестве облагораживающей добавки к менилитовым сланцам, отличающимся низкой теплотой сгорания и температурами плавкости золы, близкими к таковым для новомосковских углей.

Представляет интерес производство из соленого угля синтетического жидкого топлива, которое можно получить каталитической деструктивной гидрогенизацией под действием газообразного водорода, термическим растворением под давлением водорода или в присутствии растворителя – донора водорода, гидропиролизом угля, а также его газификацией с последующим синтезом жидких продуктов из синтез-газа /28, 79/. Не исключено, что в процессе гидрогенизации натрий заместится водородом, в результате чего полученный облагороженный

твердый продукт сможет использоваться в качестве топлива на ТЭС.

В настоящее время во многих странах мира проводятся исследования по сжиганию низкосортного топлива в установках, где создаются условия слоя, продуваемого воздухом. В Советском Союзе для сжигания низкометаморфизованных углей со значительным содержанием золы и серы вводятся в эксплуатацию достаточно экономичные парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля в кипящем слое на паровоздушном дутье под давлением. Газификация в них производится обычно при температурах ниже возгонки хлористого натрия. Следовательно, при использовании в таких установках соленых углей образовавшийся шлак сохранит содержащиеся в углях легкоплавкие соединения натрия, которые при последующем выжиге из шлака горючих будут возгоняться в зоне агломерации со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями. Наряду с этим в США /I26/ для сжигания низкокачественных сернистых углей используются установки, имитирующие условия аэрируемого слоя, в которых в качестве наполнителя используется измельченный известняк. Применение его дает возможность из образующегося при сгорании газа удалять диоксид серы, который легко поглощается известняком при сравнительно невысоких температурах, поддерживающихся в зоне горения (приблизительно 8I5 - 870 °С). Добавление хлористого натрия в известняк при его кальцинировании или в среду, где сжигается уголь (в виде пара), сокращает расход известняка более чем на 50 %. Лабораторными исследованиями удалось установить механизм воздействия соли на известняк. Сравнение внутренней микроструктуры известняка, кальцинированного без добавления $NaCl$ /I26, с. 443, рис. 4/, со структурой известняка, прокаленного с добавкой $NaCl$ /там же, рис. 5/, показало, что соль при кальцинировании изменяет внутреннюю микроструктуру известняка, что сопровождается переходом микропор в макропоры. В результате облегчается диффузия сернистого ангидрида, а поглощение его известняком значительно увеличивается. Четких доказательств коррозионной активности вводимой соли не получено. Требуемое для проведения описанного процесса количество соли, составляющее около I % веса сжигаемого топлива, вполне соизмеримо с содержанием хлористого натрия в соленых углях. Отсюда вполне логично заключить, что предложенный способ сжигания низкосортного топлива с использованием известняка в качестве наполнителя должен быть опробован на соленых углях.

Представляет интерес и выяснение возможности использования таких углей на тепловых электростанциях с магнитогидродинамическими (МГД) генераторами, тем более, что программой разработки МГД-электростанций предусмотрено создание в начале I990 г. МГД-энергоблоков на твердом топливе /I05/.



Не следует обходить вниманием и совершенно пока не изученный вопрос о пригодности месторождений соленых углей Донбасса для подземной газификации. В этом отношении интересны разработки львовского Института геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР, где создана стендовая установка, хорошо зарекомендовавшая себя при сжигании низкосортного топлива. Как отмечают К.Н.Звягинцев и др., в Советском Союзе разработана технология подземной газификации до глубины 320 м, переход же на большие глубины должен обеспечить даже некоторые технические преимущества, в том числе возможность выбора более высокого давления дутья, обеспечивающего повышение теплоты сгорания газа. Кроме того, на глубине более 700 - 800 м вмещающие угольный пласт породы приобретают пластические свойства, чем обеспечивается быстрый кольматаж образующихся в процессе эксплуатации трещин. Это сокращает утечку газа из подземного газогенератора.

Исследование обогатимости углей по соли с использованием дистиллированной воды показало принципиальную возможность применения этого метода /I0/. Для выяснения возможности обессоливания углей Новомосковского месторождения при промывке водой определялось количество вымываемого натрия и скорости его перехода в водную вытяжку в зависимости от фракционного состава углей и соотношения уголь - вода.

Эксперименты по установлению оптимального соотношения в смеси твердой и жидкой фаз показали, что при увеличении отношения уголь - вода увеличивается как количество перешедшего в раствор натрия, так и скорость этого перехода. Выход натрия при соотношении смеси уголь - вода от I:4 до I:20 составил 70 - 80, I:25 - 80 - I00 %. Причем при отношении I:2 максимальный выход натрия наблюдается при взбалтывании смеси в течение 60 мин и более, а при отношении I:I5 - не более I мин.

При изучении зависимости выхода натрия в водные вытяжки от степени измельчения углей установлено, что с увеличением размеров частиц угля максимальный выход и скорость перехода натрия в водные вытяжки уменьшаются. Если для удаления всего водорастворимого натрия из фракции меньше I мм достаточно I мин, то за это же время из фракции I - 3 мм в раствор перейдет 40 - 60, а из фракции 3 - 5 мм - 30 - 40 % натрия. Чтобы перевести в раствор 70 % натрия из фракции I - 3 мм, необходимо около I5 мин.

Исследователи полагают, что для получения кондиционного топлива, содержащего менее 0,4 % $Na_2O$, необходимо уголь, раздробленный до размера частиц менее 3 мм, промывать при соотношении в смеси твердой и жидкой фаз от I:4 до I:I0 в течение 5 - I5 мин. Проведенные работы дали возможность исследовать обессоливание углей технической во-

дой в лабораторных условиях и поставить вопрос о разработке технологии их обогащения при гидротранспортировке, позволяющей совместить оба эти процесса.

При этом возникает дополнительная задача – реализации или сброса высокоминерализованных вод, полученных при обессоливании. Проблема канализации шахтных и промышленных вод уже сейчас стоит на повестке дня. А опреснение выделенных из пульпы соленых вод требует проведения специальных мероприятий, так как получение пресных вод должно сочетаться с концентрированием образующихся рассолов, выделением из них солей, разделением их и доведением до товарной продукции. Поэтому весьма актуально в условиях дефицита водных ресурсов в Донбассе и для успешного решения экологической проблемы создание замкнутой бессточной системы обессоливания.

Из изложенного выше следует, что радикальных методов обессоливания и использования соленых углей пока не найдено.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и обобщение материала по геологическому строению месторождений соленых углей Советского Союза и зарубежных стран позволили сравнить и выявить геологические обстановки их формирования, характеризующиеся во всех случаях наличием источника солей в торфяную стадию. В паралических бассейнах таким источником являлась морская вода, в областях развития галогенных отложений – продукты их разрушения, в регионах с проявлением магматизма – производные магматической и постмагматической деятельности. Показательно, что в современной геологической обстановке некоторых месторождений углей с повышенным содержанием натрия нет источника солей, который можно было бы рассматривать в качестве фактора их эпигенетического засоления.

Месторождения соленых углей известны в отложениях всех систем (от каменноугольной до неогеновой), их образование – закономерное следствие определенных условий геологического прошлого Земли, в частности периодов активизации эндогенных процессов, сопровождающихся трансгрессиями и регрессиями моря и интенсивной вулканической деятельностью.

Дальнейшая эволюция засоленного органического вещества непосредственно связана с тектоническим развитием региона. Одним из важнейших факторов обессоливания является глубина метаморфического преобразования углей, а также такие их свойства, как макро- и микропористость, трещиноватость и др., способствующие выносу солей в соответствующих гидрогеологических условиях.

Применение методов математической статистики при изучении соленых углей Западного Донбасса позволило выявить взаимосвязь между химическими компонентами, выделить их геохимические ассоциации и в какой-то мере выяснить причинно-следственные связи между обстановкой формирования соленых углей и их петрохимическими параметрами. В результате комплексного подхода к проблеме, целенаправленной обработки и анализа полученных данных установлены некоторые закономер-

ности формирования соленых углей, подтверждающие концепцию их седиментодиагенетического засоления.

Данная проблема имеет большое научное значение для решения различных геологических задач, в частности восстановления палеогеографической обстановки формирования угленосных отложений, уточнения истории геотектонического развития не только Западного Донбасса, но и других угленосных бассейнов, прогнозирования наличия соленых углей в том или ином регионе или угленосной формации и т.д.

Поскольку полученные результаты позволяют предполагать, что органическое вещество углей могло подвергнуться засолению на всей территории Большого Донбасса, дальнейшие работы в этой области должны быть направлены на установление зональности распределения соленых углей по площади и в разрезе угленосной толщи Донбасса, изучение ее геохимии и гидродинамики для реконструкции процессов засоления и обессоливания углей, а также выявление таких углей в Днепровско-Донецкой впадине. В связи с этим геологическим организациям, проводящим поисково-разведочные работы на ее территории, для своевременной фиксации, оконтуривания и оценки месторождений соленых углей рекомендуется, кроме обычного комплекса исследований, предусматривать на стадии поисков опробование для производства химического анализа углей и зол с раздельным определением количества натрия и калия, а также хлора и водорастворимого натрия; на стадии предварительной и детальной разведки – составление карт содержания водорастворимых солей в углях и определение состава пород кровли и почвы для установления возможности их использования в качестве присадок к углю при его сжигании.

Подчеркнем, что геологическая сторона проблемы соленых углей, вопросы генезиса и эволюции угольного вещества тесно связаны с технологическими задачами их использования. Теоретические и экспериментальные работы должны быть направлены на поиск методик освоения и обессоливания углей, отвечающих определенным требованиям с точки зрения экономичности, комплексности использования сырья и охраны окружающей среды. Положительное решение вопросов экологии особенно важно в связи с тем, что Новомосковский район является зоной отдыха. При поисках метода обессоливания углей следует учитывать, что Донбасс относится к районам со значительным дефицитом водных ресурсов, в том числе по количеству и качеству вод в реках (сооружение канала Днепр – Донбасс не позволило полностью устранить этот дефицит). Поэтому оптимальным вариантом будет разработка бесточной системы очистки угля, что позволит успешно решить проблему использования соленых углей и перевести их запасы из проблематичного в реальный резерв топливно-энергетических ресурсов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


I. Айзенверг Д.Е., Бражникова Н.Е., Василюк Н.П. и др. Разрез карбона Донбасса как эталонный разрез каменноугольной системы. – В кн.: Общие проблемы стратиграфии каменноугольных отложений. М.: Наука, I978, с. I58 – I68.

2. Александрова Л.Н. Процессы взаимодействия гуминовых веществ с минеральной частью почвы. – Почвоведение, I954, № 9, с. 23 – 34.

3. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. / Под ред. А.П.Виноградова. В 4-х т.– М. : Всесоюз. Аэролог. трест м-ва геологии СССР, I967. – Т. 4. 58 с.

4. Атлас углей нижнего карбона Донецкого бассейна / А.З.Широков, М.Д.Бердюкова, К.И.Иносова и др. – М. : Наука, I964. – I02 с.

5. Бабенко В.П., Гургенидзе А.М. Условия образования торфяных месторождений Колхиды и влияние морских вод на свойства торфа. – Торф. про-сть, I97I, № I, с, 23 – 26.

6. Баев Ю.В. Изучение процессов передвижения воды в неосушенной торфяной залежи с помощью радиоактивных индикаторов. – В кн.: Природа торфяных болот и методы их исследований. – Л. : Наука, I967, с. 24I – 244.

7. Барышев В.И. Зависимость температурных характеристик от химического состава золы твердых топлив. – Химия твердого топлива, I979 № 5, с. 8I – 85.

8. Белоконь В.И., Вырвич Г.П., Иносова К.И., и др. Донецкий каменноугольный бассейн. – В кн.: Петрология палеозойских углей СССР. М. : Недра, I975, с. 85 – II0.

9. Богданова Н.М., Костюченко В.П. Засоленность почвогрунтов осушившегося дна Аральского моря. – Изв. АН СССР. Сер. геогр., I978, № 2, с. 35 – 45.

I0. Бойко П.Г., Пожидаев С.Д., Грицай В.А. Об обогатимости углей Новомосковского месторождения Донбасса по соли путем промывки водой. – В кн.: Ресурсы твердых горючих ископаемых, их увеличение и комплексное использование в народной хозяйстве (Ростов-на-Дону, сент. I98I г.): Тез. докл. УП Всесоюз. угол. совещ. Ростов-н/Д: ВНИГРИуголь, I98I, ч. I, с. 387 – 388.

II. Браиловская М.С. Условия накопления пласта $c_7$ на территории Петриковского месторождения Западного Донбасса. – В кн.: Геология и горное дело. Днепропетровск : ДГИ, I967, с. I5I – I52.

I2. Бурцев М.П. Канско-Ачинский угольный бассейн. – М. : Изд-во АН СССР, I96I. – I38 с.

I3. Быкадоров В.С., Гаврилин К.А. Геология и ресурсы углей Канско-Ачинского бассейна. – М., I980. – 28 с. – (Экспресс-информ. / ВИЭМС : Геология, методы поисков и разведки твердых горючих ископаемых).

I4. Валяшко М.Г., Поливанова А.И., Жеребцова И.К. Экспериментальное исследование перемещения растворов разного удельного веса в пористых породах в связи с вертикальной гидрохимической зональностью. – Геохимия, I963, № 3, с. 3I2 – 327.

I5. Вдовенко М.И. Минеральная часть энергетических углей. – Алма-Ата : Наука, 1973. – 256 с.
I6. Веселовский В.С. Испытания горючих ископаемых. – М. : Госгеолиздат, 1951. – 336 с.
I7. Волкова И.Б., Сцепинская Г.Л. О связях петрографических и химических особенностей некоторых разрезов угольных пластов нижнего карбона Западного Донбасса с условиями их образования. – Химия твердого топлива, 1972, № 1, с. 38 – 46.
I8. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. – М. : Мир, 1974. – 272 с.
I9. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. Г.Г.Попова: В 12-ти т. – М. : Госгеолтехиздат, 1962. – Т. 10. 403 с.
20. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. И.А.Кузнецова: В 12-ти т. – М. : Госгеолтехиздат, 1968. – Т.1. 1210 с.
21. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. / Под ред. Н.Ф.Рябоконя : В 12-ти т. – М. : Недра, 1964. – Т. 8. 790 с.
22. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. И.А.Кузнецова : В 12-ти т. – М. : Недра, 1968. – Т. 6, 600 с.
23. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. Г.Д.Петровского : В 12-ти т. – М. : Недра, 1973. – Т. 9. Кн. 1. 692 с.
24. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. Г.Д.Петровского : В 12-ти т. – М. : Недра, 1973. – Т. 9. Кн. 2. 400 с.
25. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под. ред. И.В.Орлова : В 12-ти т. – М. : Недра, 1973. – Т 5. Кн. 1. 720 с.
26. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. И.В.Орлова : В 12-ти т. – М. : Недра, 1973. – Т. 5. Кн. 2. 432 с.
27. Глои С. Латроб Велли, Виктория. – В кн.: Полезные ископаемые Австралии и Папуа Новой Гвинеи. М. : Мир, 1980, т. 2, с. 202 – 214.
28. Голицин М.В., Еремин И.В., Череповский В.Ф. Угли для производства синтетического топлива. – Сов. геология, 1982, № 5, с. 3–13.
29. Гренховд Г.Х., Сондрил Е.А. Использование низкосортных углей в США. – Л. : ОНТИ, 1976. – 68 с.
30. Григорьев К.Н. Канско-Ачинский угольный бассейн. – М. : Недра, 1968. – 184 с.
31. Грицай Р.А., Пожидаев С.Д., Савчук В.С. и др. О распространении нижнекарбоновых "соленых" углей в Западном Донбассе. – В кн.: Ресурсы твердых горючих ископаемых, их изучение и комплексное рациональное использование в народном хозяйстве (Ростов-на-Дону, сент. 1981 г.) : Тез. докл. УП Всесоюз. угол. совещ. Ростов н/Д: ВНИГРИуголь, 1981, ч. 1, с. 385 – 386.
32. Гумусовые вещества почвы / Л.Н.Александрова, Э.М.Дорфман, А.А.Коротков и др. – Ленинград; Пушкин : Ленингр. с.-х. ин-т, 1970. – 233 с. – (Зап. Ленингр. с.-х. ин-та; Т. 142).
33. Дик Э.П., Гвоздева Т.Н. Перспективы добычи и использования углей с повышенным содержанием натрия. – В кн.: Ресурсы твердых горючих ископаемых, их изучение и комплексное рациональное использование в народном хозяйстве (Ростов-на-Дону, сент. 1981 г.) : Тез. докл. УП Всесоюз. угол. совещ. Ростов н/Д. : ВНИГРИуголь, 1981, ч. 1, с. 230 – 231.
34. Дик Э.П., Доброхотов В.И., Залкинд И.Я. К вопросу шлакования паровых котлов мощных энергоблоков. – Теплоэнергетика, 1980, № 3, с. 18 – 23.
35. Егоров А.И., Егорова М.Н., Кизильштейн Л.Я., Челмокаева С.С. К вопросу о генезисе углей с повышенным содержанием натрия. – В кн.: Ресурсы твердых горючих ископаемых, их изучение и комплексное рациональное использование в народном хозяйстве (Ростов-на-Дону, сент. 1981 г.) : Тез. докл. УП Всесоюз. угол. совещ. Ростов н/Д : ВНИГРИуголь, 1981, ч. 1, с. 374 – 376.
36. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей. – М. : Недра, 1980. – 263 с.
37. Закономерности размещения и критерии поисков каменных солей СССР / И.М.Джиноридзе, С.Д.Гемп, А.Ф.Горбов, В.И.Раевский – Тбилиси : ВНИИгалургии м-ва хим. пром-сти СССР, 1980. – 373 с.
38. Закономерности угленакопления на территории Западного Донбасса/ Д.Ф.Алымов, В.А.Данилевская, Ф.М.Дысса и др. – М. : Госнаучтехиздат, 1963. – 452 с.
39. Залкинд И.Я., Дик Э.П., Вдовченко В.С. и др. Поведение минеральной части твердых топлив при их сжигании в топках паровых котлов. – Теплоэнергетика, 1971, № 7, с. 47 – 52.
40. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М. : Недра, 1982. – 184 с.
41. Золошлаковые материалы и золоотвалы / В.Г.Пантелеев, В.А.Мелентьев, Э.Л.Добкин и др. – М. : Энергия, 1978. – 296 с.
42. Зубкова Ю.Н., Кучур Р.В., Рукосуева А.В. Исследования адсорбции метанола и гептанола на донецких углях разной стадии метаморфизма методом ИКС. – Химия твердого топлива, 1969, № 1, с. 158 – 160.
43. Иванова А.В. Геолого-генетические факторы засоления углей Западного Донбасса. – Докл. АН УССР. Сер. Б, 1983, № 3, с. 12 – 17.
44. Иванова А.В. Петрохимические факторы засоления углей Западного Донбасса. – Там же, № 5, с. 6 – 9.
45. Иванова А.В., Зайцева Л.Б. Проблема генезиса соленых углей Западного Донбасса. – Киев, 1982. – 55 с. – (Препринт / Ин-т геол. наук АН УССР; № 82-17).
46. Игнатченко Н.А. Изменение пористости каменных углей при метаморфизме. – Химия твердого топлива, 1969, № 6, с. 119 – 122.
47. Касаточкин В.И. Проблема молекулярного строения и органическая химия природных углей. – Там же, № 4, с. 33 – 48.
48. Кизильштейн Л.Я. Генезис серы в углях. – Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1973. – 199 с.
49. Кизильштейн Л.Я. Геохимические индикаторы условий древнего торфонакопления. – Химия твердого топлива, 1973, № 4, с. 42 – 49.
50. Кизильштейн Л.Я., Вялов В.И., Гальчиков В.В. Распределение натрия в углях северной части Донецкого бассейна. – Изв. вузов. Геология и разведка, 1983, № 2, с. 70 – 77.
51. Кизильштейн Л.Я., Гальчиков В.В., Федоров Ю.А. Натрий и калий в микрокомпонентах углей Северного Донбасса. – Химия твердого топлива, 1983, № 4, с. 36 – 42.
52. Кизильштейн Л.Я., Гофман Н.Г. Реконструкция условий pH и окислительно-восстановительного потенциала древних торфяников. – Там же, 1970, № 4, с. 49 – 57.
52а. Китаев И.В., Михайлов М.А. Геохимические закономерности распределения золота и серебра в осадочных породах и углях. – В кн.: Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ, 1979, с. 57 – 76.
53. Китаева Н.И. Зависимость химического типа воды от фациальных условий образования углей. – Там же, с. 97 – 106.
54. Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. – М. ; Недра, 1979. – 272 с.
55. Клер В.Р., Дик Э.П. Изучение минеральных компонентов энергетических углей. – Разведка и охрана недр, 1981, № 4, с. 32 – 35.
56. Кондратюк И.Т., Забигайло В.Е. Коллекторские свойства горных пород углей свиты $C_3^1$ Западного Донбасса. – В кн.: Геология и горное дело. Днепропетровск : ДГИ, 1967, с. 17 – 19.
57. Кривега Т.А., Шараева Л.Н. Влияние вещественного состава и метаморфизма на качество углей Западного Донбасса. – Химия твердого топлива, 1973, № 5, с. 9 – 13.

58. Крылова Н.М., Гаврилова О.И. Петрографические признаки и химические свойства каменных углей и их изменения в процессе метаморфизма. – В кн.: Петрография углей СССР. Л. : Недра, 1982, с. 68 – 81.
59. Кузнецов В.В. Физическая и коллоидная химия. – М. : Высш. шк., 1968. – 389 с.
60. Лазебник П.В., Гринвальд М.А., Долгополов В.М. Распространение германия в зонах размыва угольных пластов в отдаленных районах СССР. – В кн.: Геология и горное дело. Днепропетровск : ДГИ, 1967, с. 60–61.
61. Лазько Е.М. Региональная геология СССР: В 2-х т. – М. : Недра, 1975. – Т.2. 464 с.
62. Логвиненко И.В. Литология и палеогеография продуктивной толщи Донецкого карбона. – Харьков : Изд-во Харьк. ун-та, 1953. – 436 с.
63. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. – М. : Наука, 1964. – 316 с.
64. Матвеев А.К. Угольные месторождения зарубежных стран. – М. : Недра, 1966. – 460 с.
65. Матвеев А.К. Угольные месторождения зарубежных стран. – М. : Недра, 1968. – 170 с.
66. Матвеев А.К. Угольные месторождения зарубежных стран. – М. : Недра, 1974. – 240 с.
67. Матвеева И.И., Клейменова И.И. Физико-химические свойства углей Березовского месторождения. – Теплоэнергетика, 1966, № 9, с.47–50.
68. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. – М. : Недра, 1975. – 256 с.
69. Методические разработки по изучению соленых углей Западного Донбасса / С.Д.Пожидаев, Р.А. Грицай, А.В.Иванова и др. – Киев : Наук. думка, 1981. – 56 с.
70. Миллер Р.Л., Кан Д.С. Статистический анализ в геологических науках. – М. : Мир, 1965. – 482 с.
71. Михалев А.К., Стовповой В.Н. К вопросу о генезисе угольных пластов Новомосковского месторождения Западного Донбасса. – Сов. геология, 1969, № 10, с. 137 – 142.
72. Морозов А.Т. Выступление. – Почвоведение, 1954, № 7, с. 85 – 89.
73. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. – М. : Физматиздат, 1960. – 430 с.
74. Нестеренко Л.Л. Состояние знаний о молекулярной структуре веществ ископаемых углей и методы ее изучения. – Химия твердого топлива, 1969, № 4, с. 6 – 32.
75. Отс А.А. Процессы в парогенераторах при сжигании сланцев и углей. – М. : Энергия, 1977. – 223 с.
76. Пекаторос Л.Г. Соленакопление в почвах Днестровских плавней и принцип их районирования. – Почвоведение, 1961, № 5, с. 13 – 20.
77. Пензин Ю.П. Угли Северо-Востока СССР с повышенным содержанием натрия и задачи по их изучению. – М., 1983, с. 10 – 15. (Экспресс-информ. / ВИЭМС : Геология, методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых; Вып. 1).
78. Перельман А.И. Геохимия природных вод. – М. : Наука, 1982. – 152 с.
79. Получение синтетического топлива из угля в США и Канаде (по данным зарубежной литературы). – М., 1982, с. 1 – 17. (Экспресс-информ. / ВИЭМС; Геология, методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых; Вып. 5).
80. Посохов Е.Ф. Формирование химического состава подземных вод. – Л. : Гидрометеоиздат, 1969. – 334 с.
81. Посохов Е.Ф. Формирование хлоридных вод гидросферы. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 247 с.
82. Попов В.С. Угленосные отложения Украины. – Геол. журн., 1978, 38, № 4, с. 13 – 20.



83. Потонье Г. Происхождение каменного угля и других каустобиолитов. – Л. и др. : ОНТИ, НКТП, 1934. – 204 с.
84. Раздорожный В.Ф. О формах вхождения некоторых рассеянных элементов в вещество угля и пород Донбасса. – Геол. журн., 1971, 31, № 2, с. 87 – 92.
85. Сапрыкин Ф.Я., Богданов В.В. Методическое руководство по изучению и оценке месторождений угля на германий и другие редкие элементы. – М. : Недра, 1967. – 312 с.
86. Сарбеева Л.И. Некоторые физические свойства углей метаморфического ряда. – В кн.: Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. Л. : Наука, 1968, с. 121 – 132.
87. Свентиховская А.Н. Влияние водно-минерального питания на содержание микрокомпонентов в торфяных залежах. – В кн.: Генезис и динамика болот. М. : Изд-во МГУ, 1978, вып. 1, с. 121 – 126.
88. Семашева И.Н., Софиев И.А. О сорбционной золе угля. – Докл. АН СССР, 1962, 142, № 3, с. 683 – 686.
89. Сергеева Т.Е. О содержании щелочных компонентов в минеральной части угля и его золе. – Химия твердого топлива, 1972, № 1, с. 138 – 141.
90. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – Киев : Техніка, 1975. – 768 с.
91. Ситтич М. Натрий, его производство, смеси и применение. – М. : Госатомиздат, 1961. – 440 с.
92. Созанский В.М. Геология и генезис соленосных образований. – Киев : Наук. думка, 1973. – 200 с.
93. Софиев И.С., Гумаров Р.Х., Халмухамедова Р. Влияние некоторых факторов на сорбционные свойства ископаемого угля. – В кн.: Угли Средней Азии и пути их использования. Ташкент : Фан, 1968, с. 102 – 109.
94. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. – М. : Химия, 1968. – 536 с.
95. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И. Органическое вещество и его изменение в процессе углеобразования. – В кн.: Осадконакопление и генезис углей карбона. М. : Наука, 1971, с. 185 – 210.
96. Угольные бассейны Великобритании / Под ред. А.Э.Трумена. – М. : Изд-во иностр. лит., 1960. – 447 с.
97. Успенский В.А. Опыт материального баланса процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов. – Изв. АН УССР. Сер. геол., 1954, № 6, с. 94 – 101.
98. Федоров Ю.А., Кизильштейн Л.Я., Гальчиков В.В. Гидрохимические условия формирования углей с повышенным содержанием щелочей. – Изв. вузов, Геология и разведка, 1983, № 3, с. 46 – 51.
99. Феофилова А.П., Левенштейн М.Л. Особенности осадко- и углеконакопления в нижнем и среднем карбоне Донецкого бассейна. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 175 с. (Тр. Геол. ин-та АН СССР; Вып. 73).
100. Хаушильд Д., Лоренц Е. Котлы для сжигания бурых углей с большим содержанием щелочей в золе. – В кн.: Паровые котлы зарубежных электростанций. М.; Л. : Госэнергоиздат, 1959, вып. 1, с. 124 – 144.
101. Храпкин С.Г., Пожидаев С.Д. О направлениях исследований соленых углей. – В кн.: Ресурсы твердых горючих ископаемых, их увеличение и комплексное рациональное использование в народном хозяйстве (Ростов-на-Дону, сент. 1981 г.) : Тез. докл. УП Всесоюз. угол. совещ. Ростов н/Д : ВНИГРИуголь, 1981, ч. 1, с.383–384.
102. Цинцен А. Вопросы котлостроения в ФРГ. – В кн.: Паровые котлы зарубежных электростанций. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959, вып.1, с. 69 – 81.
103. Черненков И.И., Шафир Г.С., Никитина Т.В. Получение синтетического газа из углей. – Химия твердого топлива, 1981, № 1, с. 3 – 7.
104. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 672 с.

I05. Шейдлин А.Е., Шумяцкий В.Я., Шпильрайн Э.Э. и др. Современное состояние проблемы создания электростанций с МГД генераторами.- Теплоэнергетика, I980, № 3, с. 2 - 5.
I06. Штах Э., Маковски М.Т., Тейхмоллер М. и др. Петрология углей. - М. : Мир, I978. - 554 с.
I07. Шульга В.Ф. Некоторые вопросы тектоники Западного Донбасса. - Изв. вузов. Геология и разведка, I967, № 4, с. 9 - I4.
I08. Шульга В.Ф. Нижнекарбоновая угленосная формация Донецкого бассейна. - М. : Наука, I98I. - I76 с.
I09. Шульга В.Ф., Кривега Т.А., Шараева Л.Н. Связь вещественного состава угольных пластов Западного Донбасса с условиями формирования подпочвы и кровли. - Технология добычи угля подзем. способом, I972, № 7, с. 35-36.
II0. Шеголев Д.И., Соляков И.П., Попов В.С. и др. Гидрогеология СССР.- М. : Недра, I97I. - Т. I. 480 с.
III. Энергетическое топливо СССР: Справочник / И.И.Матвеева, Н.В.Новицкий, В.С.Вдовченко и др. - М. : Энергия, I979. - I26 с.
II2. Эпик И.П. Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов. - Таллин : Эстгосиздат, I96I. - 249 с.
II3. Эттингер И.П. Зависимость сорбционной способности ископаемых углей от степени их метаморфизма. - В кн.: Химия и генезис твердых горючих ископаемых. М: : Изд-во АН СССР, I953, с. 20I - 2I0.
II4. Юдович Я.Э. Геохимические ассоциации типоморфных элементов-примесей в углях и связанные с ними генетические проблемы. - В кн.: Тектоника, стратиграфия и литология осадочных формаций Якутии.-Якутск : Кн. изд-во, I968, с. 204 - 2I8.
II5. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. - Л. : Наука, I978. - 284 с.
II6. Юдович Я.Э. К вопросу о роли петрографических компонентов угля в концентрировании элементов-примесей. - Изв. АН СССР. Сер. геол., I967, № 7, с. 92 - I03.
II7. Юдович Я.Э. О распределении зольности в каменных углях Алмазно-Марьевского района Донецкого бассейна. - Литология и полез. ископаемые, I969, № 2, с. II4 - I24.
II8. Юдович Я.Э., Корычева А.А., Обручникова А.С. и др. Среднее содержание элементов-примесей в ископаемых углях. - Геохимия, I972, № 8, с. I023 - I03I.
II9. Юдович Я.Э., Шасткевич Ю.Г. Зольность углей и содержание в них редких элементов. - Изв. вузов. Геология и разведка, I966, № 9, с. 68 - 76.
I20. Юровский А.З. Сера каменных углей. - М. : Изд-во АН СССР, I960.- 245 с.
121. Alker A. Steinsalz von Köflach (Steiermark). - Mitteilungsbl. Abt. Miner. Landesmus. Joanneum, 1978, N 46, S. 1-2.
122. Beising R. Die Mineral der niederrheinischen Braunkohle und ihr Verhalten bei der Verbrennung in Kraftwerken. - Neues Jahrb. Mineral. Abh., 1972, 117, N 1, S. 96-115.
123. Bohor B.F., Gluskoter H.J. Boron in illite as an indicator of paleosalinity of Illinois coals.- J. Sediment. Petrol., 1973, 43, N 4, p. 945-956.
124. Brown G.M., Carmichael A., Hartmann H.F. Bonded deposits from Victorian brown coals. - J. Inst..Fuel,1962,35,N 255,p.150-154.
125. Durie R.A. The inorganic consistuents in Australien coals. III. Morwell and Yallourn brown coals. - Fuel,1961,40,N 5,p.407-422.
126. Gasner L.L. The addition of salt to fluidized bed combustors. - In: Fifth sump. salt. Vol. 2. Solution mining. salt prod.,salt mark., nutr. Environ.probl.Gleveland,Ohio,1980, p. 439-445.
127. Gloe O.S. The geology of the Latrobe Valley coalfields. - Proc. Australas. Inst. Mining and Met.,1960,N 194,p. 57-125.





128. Gluskoter J., Rees O.W. Chlorine in Illinois coal. - Urbana, Circ. Illinois state geol. surv.,1964, N 372. - 23 p.
129. Grant K., Weymouth J.H. The nature of inorganic deposits formed during the use of Victorian brown coal in large industrial boilers. - J. Inst. Fuel, 1962, 35, N 255, p. 154-160.
130. Gronhovd H.H., Beckering W., Tufte P.H. Study of factors affecting ash deposition from lignite and other coals. - Pap. ASME, 1969, N WA/CD - 1, p. 1-9.
131. Hoffman E., Pfeifer A. Das Vorkommen löslicher Salze in Ruhrkohlen und ihr Einfluß bei der Aufbereitung. - Gluckauf, 1966, 102, N 21, S. 1104-1110.
132. Instruction zur Anwendung der "Klassifioation der Lagerstättenvorräte fester mineralicher Rohstoffe auf Braunkohlen - Lagerstätten der Deutschen Demokratischen Republik. - Bergbautechnik, 1960, 10, N 5, S. 256-260.
133. Jacob H. Betrachtungen zur Genesis von Salzkohlen. - Braunkohle, 1960, 12, N 7, S. 355-361.
134. Kessler M.F., Malán O., Valeška F. Význam stopovych a minoritních prvků pro korelaci a identifikaci sloji a komplexní využití uhli (Geochemie ostravsko-karvinského revíru). - Rozpr. ČSAV. Rada MPV, 1965, 75, N 10, s. 1-123.
135. Kuhl J. Chemiszno-mineralna budowa nieorganicznej substancji mineralnej w weglu brunatnym z Konine. Cz. 1. Badanie, popiolow. - Kwart. geol., 1959, 3, N 4, s. 751-756.
136. Kuhl J. Chemiczno-mineralna budowa nieorganicznej substancji mineralnej w weglu brunatnym z Konina. Cz. 2. Badania nieorganicznej substancji mineralnej. - Ibid., 1960, 4,N 1,s.32-41.
137. Kruszewski T. Untersuchungsmethoden an Braunkohlen von Turow Patnow (VR Polen). - Freiberger Forschungsh. C, 1965, N 189, S. 141-157.
138. Kruszewski T. Uwagi o pochodzeniu zasolenia wegli brunatnyoh ze zloza Turoszowskiego. - Kwart. geol.,1967,11,N 3,s.682-692.
139. Lehmann H. Zur Kenntnis der eozänen Salzkohlen. - Bergbautechnik, 1967, 17, N 7, S. 350-355.
140. Leibiger H., Pester L., Pommerenke J. Stand und Perspektive der Erkundung der Salzkohlefelder der DDR. - Z. angew. Geol., 1964, 10, N 9, S. 474-478.
141. Lewandowsky H.G. Vergleichende Untersuchungen von Lochauer und Egelner Salzkohle. - Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 1966, 15, N 2, S. 265-272.
142. Lissner A., Rammler E., Schmidt R. et al. Versuche zur Verbrennung von salzhaltiger Braunkohle in einer Halbgasfeuerung mit Rauchgasrückführung. - Abh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig, 1971, 51, N 1, S. 43-57.
143. Lissner A., Rammler E., Süss M. et al. Über eine salzhaltige Braunkohle der Volksrepublik Polen.- Ibid., S. 9-42.
144. Nelson A. Victoria's brown coal developments. - Colliery Guard., 1958, 197, N 5101, p. 719-722.
145. Raask E. Reactions of coal impurities during combustion and deposition of ash consistuents on cooled surfaces. - In: Mechanism. Corros. Fuel impurities. London: Butterforths,1963, p. 145-154.
146. Schiffers A. Die anorganischen Bestandteile der rheinischen Braunkohle und ihr Einfluß auf die Heizflächenverschlackung von Dampferzeugern. - Z. Dtsch. geol. Ges., 1966 (1968), 118, N 1, S. 125-134.
147. Skipsey E. Distribution of alkali chlorides in British coal seams. - Fuel, 1974, 53, N 4, p. 258-267.

148. Stammler C. Untersuchungen an Salzkohlen der Egelner Mulde. - Bergbautechnik, 1960, 10, N 3, S. 142-144.
149. Staub J., Cohen A. The snuggedy swamp of South Carolina: a back-barrier estuarine coal-forming environment. - J. Sediment. Petrol., 1979, 49, N 1, p. 133-144.
150. Sweine D.J. Inorganic constituents in Australien coals. - Mitt. Naturforsch. Ges. Bern., 1967, 24, p. 49-61.
151. Wandless A.M. British coal seams: a review of their properties with suggestions for research. - In: Resident. conf.sci. use of coal (1958). London: Inst. Fuel, s.a., p. A/1-A/12.
152. Werner H. Über den Nachweis mariner Beeinflusung von Torf und Kohle.- Geol. Jhrb., 1954, 69, S. 287-292.
153. Ziegenhardt W., Kramer H.J. Die Verteilung der Salzgehalte in den Braunkohlenflözen der Egelner Südmulde. Ein Beitrag zur Salzkohlengenese. - Z. angew. Geol., 1967, 13,N 9, s.465-473.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ..... 3
Месторождения углей с повышенным содержанием натрия и хлора зарубежных стран и СССР..... 7
Геологическое строение и качество углей зарубежных месторождений..... 7
Геологическое строение и качество углей месторождений территории СССР..... 17
Общие представления о генезисе соленых углей..... 30
Геологическая обстановка формирования соленых углей в Западном Донбассе..... 40
Геологическое строение и угленосность..... 40
Тектоническая структура..... 44
Гидрогеологические условия угленосной толщи..... 45
Геологический контроль степени засоленности углей..... 48
Петрохимические факторы засоления углей Западного Донбасса..... 63
Петрографическая характеристика углей..... 63
Химико-технологическая характеристика углей и зол..... 72
Связь петрографических и химических параметров углей с их соленостью..... 77
Генезис соленых углей Западного Донбасса..... 97
Проблема использования соленых углей..... 103
Роль соединений щелочных металлов в образовании золовых отложений на поверхностях нагрева и коррозионные свойства соленых углей..... 103
Химико-технологические критерии классификации углей по солености..... 105
Перспективы использования соленых углей..... 107
Заключение..... 113
Список литературы..... 115

Ариадна Викторовна Иванова
Тамара Александровна Кривега

# СОЛЕНЫЕ УГЛИ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА
(условия формирования и проблемы использования)

Утверждено к печати ученым советом
Института геологических наук УССР

Редактор Н.Я.Чехович
Оформление художника Н.И.Козаковой
Художественный редактор И.П.Савицкая
Технический редактор И.Ф. Михалкина
Корректоры Т.А.Обора, В.И.Гломозда

Информ. бланк № 6823

Подп. в печ. 29.II.84. БФ 26480. Формат 60x84/I6. Бумага офс. № I.
Офс. печ. Усл. печ. л. 7,2I. Усл. кр.-отт. 7,56. Уч.-изд. л. 8,03.
Тираж 500 экз. Заказ 5-31. Цена 95 к.

Издательство "Наукова думка". 252601 Киев 4, ул. Репина, 3.
Киевская книжная типография научной книги.252004 Киев 4,ул.Репина,4