

Российская академия наук
Коми научный центр
Уральское отделение
Институт геологии

Я. Э. Юдович

Горючие сланцы Республики Коми Проблемы освоения

Сыктывкар

 *Геопринт*

2013

УДК 662.67

Юдович Я. Э. Горючие сланцы Республики Коми: Проблемы освоения. — Сыктывкар: Геопринт, 2013. 90 с.

Одноименная брошюра была подготовлена еще в 1981 г., но не была опубликована. Поскольку проблема промышленного освоения горючих сланцев Республики Коми остается актуальной и сегодня, этот текст должен оказаться полезным специалистам разного профиля: геологам, горнякам, экономистам, энергетикам, химикам, технологам, работникам сельского хозяйства.

Главной идеей «архивной» брошюры 1981 г. является положение о том, что горючие сланцы являются необычным видом сырья многоцелевого назначения, в котором должны комплексно использоваться как органическая, так и минеральная составляющие, а также вмещающие породы юрской сланценосной толщи.

В интересах современного читателя, текст 1981 г. снабжен современными предисловием-2012 и послесловием-2012, в которых изложены некоторые аспекты истории изучения самих горючих сланцев и сланценосной толщи и полученные после 1981 г. новые результаты такого изучения.

3 рис. 7 табл. 60 библиогр. ед.

Научный редактор
доктор геолого-минералогических наук
профессор *Ю. А. Ткачев*

Рецензенты:
доктор геолого-минералогических наук *Д. А. Бушнев*
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *С. В. Лыгоров*
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *В. А. Салдин*

© Я. Э. Юдович, 2012
© Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2012

Предисловие-2012

Рукопись брошюры «Горючие сланцы Коми АССР. Проблемы освоения» была подготовлена мною по предложению геологов бывшей Вычегодской геолого-поисковой партии Ухтинской геолого-разведочной экспедиции (УГРЭ) в марте—апреле 1981 г. В 1977—1979 гг. вычегодцы вели поисковое бурение в северной части Сысольского сланценосного бассейна, и я им составил геохимическую главу в производственный отчет (Васильева, 1979 г.). В этой главе я отметил зараженность верхнеюрской сланценосной толщи элементами группы железа — марганцем, ванадием, никелем и хромом. Я рекомендовал продолжить изучение геохимии сланценосной толщи с помощью количественных методов анализа и поручил эту работу нашей аспирантке Н. С. Лавренко. Она съездила в Ухту, привезла оттуда огромное количество проб пород сланценосной толщи (из архива спектральной лаборатории УГРЭ), но намеченную для нее геохимическую работу сделать не сумела; в течение последующих почти 30 лет количественной геохимии сланценосной толщи так и не появилось.

Тем не менее, я надеялся, что рано или поздно изучение горючих сланцев Республики будет продолжено, и поэтому **мне представлялось важным дать сводку информации, касающейся возможностей промышленного использования горючих сланцев.** Такова была история создания этой записки.

В июне—ноябре 1983 г. рукопись подверглась основательному рецензированию в Коми филиале АН СССР.

В нашем Институте геологии первый и очень краткий отзыв написал наш лучший специалист по стратиграфии и палеонтологии мезозоя и верхнего палеозоя — кандидат геолого-минералогических наук **Владимир Афанасьевич Молин**. Дав автору (в приватном порядке) несколько стилистических замечаний, в официальном отзыве он рекомендовал опубликовать рукопись в Коми книжном издательстве под названием «Проблемы освоения горючих сланцев Коми республики». Для этого, по его мнению, *«руководству филиала необходимо обратиться в издательство с просьбой включить рукопись Я. Э. Юдовича в ближайший план изданий. Думаю, —* заключает

В. А. Молин, — *что брошюра найдет широкий отклик у читающей публики, особенно в среде специалистов: геологов, горняков, химиков, энергетиков, работников сельского хозяйства*.

Исходя из мнения В. А. Молина, я передал рукопись на отзыв другим специалистам Коми филиала АН СССР: химикам, экономистам и энергетикам.

Вотзыве, подписанном зав. Отделом химии, кандидатом химических наук **В. Н. Сюткиным** и руководителем группы химии твердого топлива кандидатом химических наук **Л. А. Мельниковой** (впоследствии перешедшей на работу в Отдел геологии горючих ископаемых нашего Института) была дана серия замечаний (например, *«часто и объемно встречаются, на наш взгляд, ненужные подробности; в то время как материал, представляющий практический интерес, иногда сообщается в сокращенном виде»*), рекомендовалась *«тщательная доработка рукописи как по содержанию, так и по изложению»*, но в заключении отмечалось: *«нельзя не отметить актуальности данного исследования и своевременности в связи с формированием Тимано-Печорского ТПК»*.

Вотзыве, подписанном научными сотрудниками Отдела экономики кандидатом экономических наук **В. А. Старцевым** и **Д. А. Коноваловым**, отмечалось, что *«экономическая целесообразность освоения ресурсов горючих сланцев ни в коей мере не доказана»*. Отметив спорный характер *«ряда положений»* (например, рекомендации по использованию вскрышных пород для улучшения структуры почв) и дав несколько других замечаний, авторы заключили: *«Выполненная Я. Э. Юдовичем работа может представлять интерес как материал, несущий информацию о возможных технологических направлениях комплексного использования горючих сланцев»*. Как видим, рекомендации о публикации работы в отзыве не содержится.

Самым негативным оказался отзыв зав. Отделом энергетики **Н. А. Манова** — он дал на одном листике серию постраничных рукописных (трудно читаемых) замечаний, не потрудившись их даже напечатать. Тем не менее, заключение разобрать можно: *«Материал носит характер обстоятельной (но во многом спорной!) докладной записки в плановые органы. Это не популярная публикация, но и не оригинальная научная работа. Вероятно, работу надо дополнить результатами плановых исследований в Филиале, и тогда, при основательной ее переработке, опубликовать»*.

Несмотря на то, что я постарался учесть сделанные рецензентами замечания, мнение о целесообразности публикации без коренной переделки рукописи было высказано лишь одним В. А. Молиным. Не имея желания удовлетворять все требования рецензентов, я убрал рукопись на полку и занялся другими делами.

Новый интерес к уже забытой рукописи появился только в 1987 г., когда новый директор нашего Института Н. П. Юшкин попросил дать ему мои соображения по проблеме освоения горючих сланцев Республики. Я достал рукопись с полки и на ее основе подготовил для Н. П. Юшкина докладную записку (13 с. м/п): «*Возможные пути использования минеральных сырьевых ресурсов сланценосной толщи юга Коми АССР. Краткая обзорная справка*». Отметив, что никакой новой информацией о работах, проведенных после 1981 г., я не располагаю, я вновь подчеркнул необходимость фундаментальной проработки всего комплекса проблемы освоения горючих сланцев Республики. Однако реакция Н. П. Юшкина на мою записку мне осталась неизвестной.

В последующие годы продолжилось, хотя и в очень скромных объемах, геологическое изучение горючих сланцев Яренгского сланценосного бассейна. В 1980–85 гг. в его восточной и западной частях Вычегодской ГРП ПГО «Полярноуралгеология» проведены поисковые работы на горючие сланцы посредством бурения колонковых скважин с комплексом геофизических, опробовательских, топогеодезических, гидрогеологических и аналитических исследований (Капитанов, 1985 г.). В результате работ наиболее перспективной была признана Чим-Лоптюгская площадь, где в разрезе выделены три пласта горючих сланцев сложного строения.

В 1989–91 гг. на этой площади были проведены поисково-оценочные работы на горючие сланцы для энергоклинкерного производства (Чуброва, 1991 г.). В 1992–96 гг., уже после развала СССР и краха советской производственной геологии, еще существовавшей Вычегодской ГРЭ проводились опытно-методические работы по определению возможности комплексного использования горючих сланцев Вычегодского района (Капитанов, 1996 г.) путем обследования естественных выходов средневожских отложений на Северо-Западной площади Яренгского сланценосного бассейна; главной целью было выяснение некоторых вопросов, возникших при проведении предыдущих поисково-оценочных работ. Однако средств был выделено слишком мало, и в итоге из пройденных 17 канав было отобрано всего 13 геохимических проб и 2 пробы на технический анализ, а из сохранившегося керна скважин – еще 137 проб и три сборных пробы горючих сланцев и известковых глин на лабораторно-технологические исследования.

С начала 2000-х гг. исследования юрской сланценосной толщи уже не получали государственной поддержки, и по свидетельству **И. Н. Бурцева** (зам. директора Ин-та геологии), «*полностью проводились на инициативных началах*». С середины 2000-х гг. им предпринимались безуспешные попытки поисков инвесторов для геологического доизучения какого-либо из перс-

пективных месторождений горючих сланцев. Наконец, в 2006 г. в регионе появился энергичный москвич А. Б. Седов, быстро нашедший инвестора; в конце 2007 г. состоялся открытый аукцион, который выиграло сыктывкарское ООО «Рудная Промышленная Компания». Она получила право геологического доизучения и разведки горючих сланцев в пределах Чим-Лютюгского месторождения горючих сланцев.

Летом 2008 г. группа сотрудников Ин-та геологии под руководством И. Н. Бурцева (В. А. Салдин, В. В. Удоратин, Д. А. Груздев, Д. Н. Шеболкин, И. В. Попов) посетила Айювинского месторождение горючих сланцев. На одном из обнажений были пройдены канавы, детально описан разрез, выполнено опробование (в дальнейшем вскрытый разрез дополнительно опробовался С. В. Лыуровым и Д. А. Бушневым), пробы отправлены на лабораторное изучение в разные организации, в том числе и в стенах Института геологии (Л. А. Анищенко).

Затем оживилось изучение Яренгских горючих сланцев. **В. М. Капитановым** был составлен проект геологоразведочных работ, прошла общественная экологическая экспертиза, и с лета 2008 началось геологическое доизучение Чим-Лоптюгского месторождения, в значительной мере выполненное силами сотрудников Ин-та геологии под руководством И. Н. Бурцева. В этих работах принимали участие В. В. Удоратин, И. В. Попов, В. А. Лютоев, А. Ш. Магомедова, А. А. Коданев, С. Н. Габов, К. А. Турков, М. Уймонен, Ф. Жилин, М. А. Иванов и некоторые другие. Геологические маршрутные исследования выполнялись группой В. А. Салдина (Д. А. Груздев, Д. Н. Шеболкин). Описание керна скважин и опробование выполнялись В. А. Салдиным, Н. С. Суворовой (Инкиной), А. Утовой, Д. Н. Шеболкиным, И. Н. Бурцевым. При этом впервые в истории Ин-та геологии, две скважины (40 пог. м.) пройдены нашими сотрудниками самостоятельно — с использованием собственного бурового оборудования.

В итоге совместных работ производственных геологов и геологов Института геологии, на Чим-Лоптюгском месторождении был выбран лицензионный участок Чим Центральный, в нем — блок №1. Было выполнено 18 профилей ВЭЗ общей протяженностью 94.1 пог. км, и пробурено 117 скважин механического колонкового бурения, всего — 2898 пог. м. Было выполнено около полутора тысяч полуколичественных спектральных анализов пород сланценосной толщи, подтвердивших выводы 1979 г. о геохимической специализации толщи на элементы группы железа; 40 геохимически аномальных проб было заверено количественными спектральными методами в сертифицированных лабораториях. В итоге на учет государственным балансом приняты запасы по категории C_1 в количестве 94.5 млн. т. горючих сланцев. **Таким образом, проведенные работы позволили получить**

значительное количество новой геологической информации, показавшей, что юрские горючие сланцы являются вполне реальным сырьевым ресурсом.

В этой ситуации представляется целесообразным напечатать наш обзор 1981 г., поскольку пути промышленного использования горючих сланцев и пород сланценосной толщи никаких принципиальных изменений не претерпели — при Олигархическом Капитализме они остались теми же, что и при Развитом Социализме...

* * *

Заметим, что теперь эта (в сущности — архивная) публикация, помимо своего содержания, представляет уже и «исторический интерес» — как типичный документ (обзорная научно-техническая информация) эпохи развитого социализма, созданный в уже исчезнувшей стране (СССР), в уже несуществующем учреждении — Коми филиале АН СССР, и в несуществующей Коми Автономной Советской Социалистической Республике. **Поэтому мы решили ничего не изменять в оригинальной рукописи-1981**, полностью сохранив все наши прогнозы и рекомендации, некоторые из которых теперь представляются весьма наивными (например, предположение о том, что добыча сланцев начнется к концу 1990-х гг. и через 10—15 лет достигнет 2—2.5 млн. т!).

Разумеется также, что при чтении рукописи-1981 необходимо учитывать изменение масштаба цен: 1 рубль тех советских времен эквивалентен примерно 100 рублям нынешнего времени.

*Я. Э. Юдович,
доктор геолого-минералогических наук,
Заслуженный деятель науки РФ,
Почетный деятель науки Республики Коми,
действительный член Академии естественных наук РФ (РАЕН)
и Нью-Йоркской АН*

Сыктывкар, октябрь—ноябрь 2012.

ВВЕДЕНИЕ

Коми республика располагает крупными ресурсами горючих сланцев в отложениях девона и юры. Наибольшее значение имеют юрские горючие сланцы, прогнозные запасы которых оценивают в 30–40 млрд. т, что может обеспечить крупную сланцедобычу в течение, по крайней мере, столетия.

В настоящее время ведутся довольно значительные геолого-поисковые работы, ранее эпизодически выполнялись опыты по технологическому переделу сланцев, появились первые экономические проработки вопросов энергетического использования сланцев. К разработке отдельных аспектов проблемы «горючие сланцы» постепенно подключается довольно широкий круг специалистов.

Однако нельзя не видеть, что этот процесс, по существу, не планируется и не координируется; прогнозы освоения сланцев имеют одностороннюю ориентацию только на энергетику. Между тем проблема «горючие сланцы» может быть решена только при комплексном к ней подходе; наши сланцы, с их низкой теплотворной способностью и весьма высокой зольностью — это совсем не то, что бурый уголь, даже такой низкокачественный, как интинский. **Горючие сланцы необходимо рассматривать как такое сырье, в котором будет использоваться и органическая и минеральная часть.** Такой подход имеет веские экономико-технологические причины, подкреплен опытом советской и зарубежной сланцевой промышленности и настоятельно диктуется опасностью дальнейшего загрязнения окружающей среды.

Хотя до начала промышленной добычи сланцев осталось не так уж много времени (по ряду оценок, она может быть развернута уже в конце 1990-х гг.), до сих пор отсутствует единая концепция горючих сланцев как комплексного сырья многоцелевого назначения.

В настоящей записке сделана попытка обоснования такой концепции, для чего выполнено обобщение современных данных по использованию горючих сланцев в энергетике, химической промышленности, в производстве цемента, бетона, каменного литья и в сельском хозяйстве. В заключительной части специально рассмотрены некоторые вопросы организации и планирования научных исследований по проблеме.

Автор надеется, что это обобщение окажется полезным для специалистов, разрабатывающих конкретные аспекты проблемы «горючие сланцы», а также послужит источником информации для планирующих органов Республики.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В СССР. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Промышленное использование эстонских кукерситов насчитывает уже около 60 лет, у истоков его стоял В. И. Ленин, придававший переработке сланцев огромное значение. В 1922 г. он направил в Президиум ВСНХ письмо следующего содержания¹:

«Тов. Красин прислал мне письмо, в котором сообщает о крупнейших успехах группы инженеров во главе с тов. Губкиным, которая с упорством, приближающимся к героическому, и при ничтожной поддержке со стороны государственных органов из ничего развила не только обстоятельное научное обследование горючих сланцев и сапропеля, но и научилась практически готовить из этих ископаемых различные полезные продукты, как-то: ихтиол, черный лак, различные мыла, парафины, сернокислый аммоний и т. д.

Ввиду того, что эти работы, по свидетельству т. Красина, являются прочной основой промышленности, которая через десяток, другой лет будет давать России сотни миллионов, я предлагаю:

1. Немедленно обеспечить в финансовом отношении дальнейшее развитие этих работ.

2. Устранить и впредь устранять всяческие препятствия, тормозящие их.

3. Наградить указанную группу инженеров трудовым орденом красного Знамени и крупной денежной суммой.

О последующем прошу мне письменно сообщить через управделами СНК тов. Горбунова. В случае каких-либо препятствий немедленно сообщите мне через него же».

Известно, что переработка эстонских кукерситов была в течение многих лет ориентирована на получение бытового газа; однако у этого направления, как пишет Д. Диннен [24], нет будущего из-за растущей конкуренции со стороны природного газа. Поэтому сланцеперерабатывающая промышленность Союза постепенно переориентировалась на производство нефтехимической продукции, а в последние годы, всё более – на энергетическое использование сланцев в топках крупных ТЭС. Нефтехимическая продукция на базе переработки эстонских сланцев насчитывает более 35 наименований включая шпалопропиточное масло (около половины всего производства в СССР),

¹ В. И. Ленин. Соч., т. 4, с. 224.

масло для регенерации резины, искусственные дубители кожи (около четверти всего производства в СССР), тампонажные составы для ремонта нефтяных и газовых скважин, фенолы, бензол, толуол, эпоксидная смола, наполнители для искусственной кожи и линолеума, электродный кокс и т. д.

По данным А. М. Котова и др., доложенным на I Международном Симпозиуме ООН по горючим сланцам в Таллине [33], по состоянию на 1968 г. наша сланцевая промышленность производила продукты следующих наименований:

- газ бытовой, сланцевое масло, ароматические углеводороды,
- синтетический дубитель, синтетические клеи, кокс электродный,
- лаки сланцевые, «кероген-70».

Из перечисленных продуктов все, кроме последнего, были производными термической переработки сланцев.

Вобщем же, беря за основу процесс использования или переработки, можно различать пять вариантов промышленного освоения горючих сланцев.

2.1. Использование сланцев без обогащения

Такое использование пока ещё не вышло за рамки научно-исследовательских и первых опытных работ. Мы имеем в виду использование прибалтийских сланцев в качестве органического удобрения. Первые, но любопытные данные в этом направлении были получены группой ленинградских ученых [44]. Если иметь в виду подобное использование сланцев Коми АССР, то одно обстоятельство может оказаться весьма благоприятным. Мы имеем в виду значительную примесь глауконита во многих сысольских и др. сланцах нашей Республики. Известно, что глауконит является ценной агрорудой. Его значение не столько в содержании калия, часть которого он может отдавать почвам, сколько в его уникальных свойствах как сорбента. Внесенный в почву вместе с минеральными удобрениями, он способствует их постепенному поступлению к растениям, предотвращая быстрое вымывание удобрений из почвы дождевыми и тальными водами.

2.2. Использование сланцевых концентратов

В большинстве случаев обогащение сланцев по органическому веществу не имеет самостоятельного значения, используясь как предварительная ступень для энергетического сжигания, термической переработки и химического передела. Но вместе с тем, концентрат керогена сланцев является и самостоятельным продуктом. Концентрат «кероген-70» по данным А. М. Котова и др. [33, с. 233] используется в производстве аккумуляторных баков, позволяя при этом повысить производительность машин, снизить трудоемкость и улучшить санитарно-гигиенические условия труда.

Как показали исследования ученых Ленинградского технологического института, можно не только повысить качество этого наполнителя, но и получить при этом значительно более ценные продукты: сырье для биосинтеза и биостимуляторы. По данным М. Марфина [37], в схеме комплексной переработки кукурбитов, разработанной Институтом химии Эстонской ССР, концентраты «кероген-70» и «кероген-90» используются как активный наполнитель и как сырье для биосинтеза. К сожалению, дополнительными данными мы не располагаем.

2.3. Термическая переработка сланцев

Она может быть подразделена на собственно технологическую и более современную — энерготехнологическую. Первая имеет два главных варианта: полукоксование с получением в качестве основного продукта сланцевой смолы, и пиролиз — с получением бытового газа, как основного продукта. При энерготехнологическом переделе получают одновременно калорийный газ для сжигания и химические продукты.

2.3.1. Переработка в газогенераторах

В газогенераторах производится низкотемпературная (около 500 °С) перегонка сланцев — полукоксование. Современная модель газогенератора была создана после многочисленных изменений, преследовавших цель увеличить низкую производительность прежних установок (35 т/сут) и повысить устойчивость режима их работы. В настоящее время газогенераторы достигли производительности 185 т/сут, но и в этом случае извлечение смолы составляет не более 75 % к тому, который получается при лабораторной перегонке по Фишеру. По свидетельству М. Марфина [37], полукоксование в газогенераторах позволяет перегонять в смолу не более 35 % содержащегося в сланцах органического вещества (керогена).

2.3.2. Переработка в камерных печах

Эти установки используются главным образом для высокотемпературного пиролиза сланцев (при Т около 800 °С) с целью получения бытового газа. Каждая камера размером 4х0.4х10 м имеет суточную пропускную способность 20 т сланца. Камеры отделяются друг от друга перегородками, в которых сжигается низкокалорийный генераторный газ: выход бытового газа достигает 300 м³/т при теплоте сгорания 16700 кДж/м³. Газ содержит около 30 % водорода, 25 % углеводородов, 10—13 % СО. В качестве побочных продуктов получается некоторое количество высокотемпературной смолы и бензина.

2.3.3. Энерготехнологическая переработка в УТТ

Установка с твердым теплоносителем (УТТ) была разработана в Энергетическом институте им Г. М. Кржижановского (ЭНИИ). Её применение считается последним словом в переработке сланцев. Выход смолы достигает 55–60 % от ОВ, пропускная способность – 3000 т сланца в сутки! Кроме смолы получается ценный высококалорийный газ. Каждая тонна сланца, перерабатываемая на УТТ-3000, даёт 1.5 рубля прибыли, по сравнению с традиционной переработкой сланца в газогенераторах [37]. Система УТТ напоминает разработанную в США систему ТОСКО-II, где роль твердого теплоносителя выполняют шары диаметром 15 мм. В УТТ же твердым теплоносителем является зола сланца; её получают сжиганием отработанного сланца во вспомогательной камере, в кипящем слое с поддувкой воздуха.

Как указывают Б. И. Тягунов и др. [52, с. 395] при энерготехнологическом переделе *«для технологических целей используются наиболее ценные продукты переработки (фенолы, ароматические и олефиновые углеводороды, возможно – наиболее легкие масла), а для производства энергии направляются остаточный газ, топочное масло и используются также топливные и тепловые отходы переработки. В итоге взамен низкосортного и «трудного» твердого топлива энергетика получает квалифицированное жидкое и газообразное топливо, и энерготехнологическое использование сланцев оказывается технически особенно выгодным для энергетиков».*

2.4. Энергетическое использование сланцев

Несмотря на название «горючий сланец», сланцы практически не использовались в качестве топлива вследствие их высокой зольности и низкой теплотворной способности. Поэтому не случайно, что разработка в СССР системы сжигания сланцев на крупных ТЭС была расценена как важное научно-техническое достижение. За сооружение и освоение в Эстонской ССР первых в мире электростанций большой мощности, работающих на сланцевом топливе, группе ученых и специалистов в 1979 г. была присуждена Государственная премия. В настоящее время 80 % годовой добычи эстонских сланцев, объем которой больше, чем добыча угля в Печорском бассейне и составляет около 35 млн. т, идет в топку ТЭС, и лишь 20 % – на технологический, энерготехнологический и энергетический передел (перечислены в порядке убывания объема потребляемых сланцев [37]).

Уже говорилось о том, что кроме собственно энергетического, в настоящее время разработан и энерготехнологический метод использования сланцев, когда сланец не сжигается, а подвергается тепловой обработке, в

результате которой из него получают как высококалорийное жидкое топливо, так и сырье для нефтехимии. Рассмотрим, что происходит с минеральной частью сланца при его энергетическом и энерготехнологическом переделе.

На большинстве ТЭС твердые топлива сжигаются в пылевидном состоянии, при температуре 1200 °С и выше, в окислительной среде. В этих условиях между частицами минеральной части топлива происходят химические реакции и образуются новые минеральные фазы, которых не было в исходном топливе. Мелкие и легкие частицы (**зола-унос**) с удельной поверхностью более 1500 см²/г уносятся из топки с дымовыми газами и улавливаются соответствующими устройствами, самыми эффективными из которых являются электрофильтры. Более крупные частицы оседают на под топки, и иногда, сплавляясь, образует кусковые шлаки.

Однако наиболее прогрессивной признана система так называемого жидкого шлакоудаления, когда большая часть минеральной части топлива превращается в расплав, который выливается в воду, образуя **топливные гранулированные шлаки**. Они представляют собою темные гранулы размером от 0.15 до 15–20 мм, реже — пластины и нити зеленого цвета с максимальными размерами до 30–35 мм.

Существенно, что химический состав гранулированных шлаков заметно отличается от химического состава золы-уноса. В частности, в них не бывает свободной СаО, нет недожога — частиц несгоревшего топлива (в анализе — потеря при прокаливании, ППП), почти нет щелочей и серы. Поскольку цементная промышленность имеет давний опыт применения гранулированных *металлургических* шлаков, то применение гранулированных шлаков ТЭС не имеет никаких проблем, чего нельзя сказать о применении золы-уноса, и в особенности золы-пульпы (шлама) и влажной полидисперсной массы (*золошлаковых отходов*) из отвалов ТЭС.

Особенно актуальна система жидкого шлакоудаления при сжигании сланцев. Так, при сжигании прибалтийских сланцев в пылевидном состоянии в топках с твердым золоудалением, около 80 % получающейся летучей золы проходит через весь газовый тракт котельных агрегатов. Это ведет к интенсивному износу поверхностей нагрева, на которых образуются плотные золовые отложения [21].

Что касается энерготехнологического передела сланцев, то зола, получаемая в УТТ, сильно отличается от обычной сланцевой золы, причем, с позиций последующей утилизации — отличается в худшую сторону: в ней гораздо больше серы, даже в сульфидной форме (для эстонских сланцев — до 3.3 %), а кальций частично остается в карбонатной форме, так что зола почти не обладает вяжущими свойствами [37].

2.5. Химическая переработка сланцев

Хотя это направление ещё не вышло за рамки научно-исследовательских разработок и пилотных установок, возможности его не следует недооценивать. В рамках этого направления сланцы рассматриваются не как энергетическое сырьё, и даже не как сырьё для производства технологических продуктов термическим путем, а прежде всего как сырьё для получения мономерных продуктов — базы для синтеза полимеров. Такой подход развит в Институте химии Эстонской ССР под руководством проф. А. С. Фоминой. Мономеры алифатического ряда (для которых обычно используют переработку нефти и газа), могут быть получены путем окислительной деструкции керогена горючих сланцев. Существует ряд схем такого окисления; в частности, по одной из них (окисление смесью азотной кислоты с воздухом) получается большое количество насыщенных дикарбоновых кислот, таких как янтарная² и кислоты C₄—C₁₀. Расчеты показывают, что при окислении 100 тыс. тонн керогена кукерситов (это с учетом зольности, составит 300—500 тыс. тонн сланца) получится, в тыс. тонн:

чистой янтарной кислоты	2.2
кристаллических кислот C ₅ —C ₁₀	6.2
смеси твердых кислот C ₄ —C ₁₀	16.6
стимулятора роста растений (СРВ)	18.4

Органические кислоты являются сырьем для получения высококачественных продуктов, таких, например, как низкозастывающие пластификаторы и пенопласты. Особый интерес представляет биологически активное «сланцевое ростовое вещество» — СРВ. Его примечательная особенность в том, что в отличие от многих других ростовых веществ оно стимулирует рост как корневой, так и надземной массы растений. Полевые опыты, проведенные в 1967 г. в Куйбышевской области (П. С. Алексеев), показали, что СРВ дало ощутимую прибавку урожая:

картофеля	26 ц/га (111 % к контролю)
кормовой брюквы	63 ц/га (109 %)
огурцов «Спутник»	66 ц/га (114 %)

СРВ применяют в виде водных растворов концентрации обычно 0.01—0.1 %, расход его составляет от 0.2 до 1.0 кг/га [54].

² Янтарная кислота, ранее известная как ростовое вещество, может найти огромные применения как мощное универсальное терапевтическое средство, резко усиливающее процессы обмена в организме, и тем оказывающее многостороннее положительное действие. Нормальный ежедневный прием ЯК или ее солей составляет 2.5—3.5 г. [32].

При щелочной обработке «керогена-70» с продувкой воздуха в стандартных заводских автоклавах получают щелочной экстракт, содержащий смесь одно- и двухосновных карбоновых кислот, а также важные биологические элементы: фосфор, железо, никель и др.

При этом качество неокислившегося керогена, как наполнителя, только улучшается (за счет возникновения в нем полярных функциональных групп, улучшающих его адгезионные свойства), а фильтрат, по данным ленинградских ученых Технологического ин-та, представляет собой прекрасный питательный субстрат для микроорганизмов – гораздо лучший, чем применяемые ныне парафины. Известно, что кормовой белок, полученный из парафинов, не годится в качестве пищевого вследствие высокой примеси остаточных парафинов, от которых очень трудно избавиться. Карбоновые же кислоты утилизируются микроорганизмами гораздо полнее, а избыток их, если понадобится, можно просто отмыть водой.

Другой ценный продукт окисления керогена – ВМК, т. е. высокомолекулярные кислые вещества. Темнобурый, почти черный раствор их солей был назван ленинградскими учеными «лентехнин». Он обнаружил качества замечательного биостимулятора. Применение его резко повысило всхожесть семян, а при обработке (в условиях Ленинградской области) посевов моркови, свеклы, брюквы, редиса, огурцов, картофеля, кормовых трав получена устойчивая прибавка урожая на 15–20 %. Лентехнин не только увеличивает биомассу, но и улучшает её качество: в картофеле увеличилось содержание крахмала, в моркови на 50 % (!) увеличилось количество каротина.

Очень важны данные (правда, пока предварительные) о том, что лентехнин повышает морозостойкость растений и ускоряет их созревание. При сельскохозяйственном применении расход препарата удивительно мал: подсчитано, что на все посевные площади Ленинградской области хватило бы четырех тонн этого биостимулятора. Наконец, выяснилось, что он стимулирует и ферментативный биосинтез кормового белка на парафине, обеспечивая прирост биомассы на 10–12 %, уменьшая остаток неутилизированного парафина, повышая скорость процесса.

Имеется ещё одна интересная область применения горючих сланцев. В докладе А. М. Котова и др. [33, с. 233] сообщалось о том, что на базе сланца-кукерсита создан препарат комплексного действия для борьбы с ветровой эрозией почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Препарат назвали **нэрозин**; *«он позволяет возвращать в землепользование площади, которые невозможно закрепить известными агротехническими приемами <...>. Применение этого препарата дало положительный эффект при закреплении песков на трассах магистральных трубопроводов в пустынях, при борьбе со снежной плесенью озимых зерновых в районах с повышенной увлажненностью».*

3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

По оценкам американских специалистов, изучавших проблему освоения богатейших месторождений эоценовых горючих сланцев Грин-Ривер [45, с. 222], «промышленность горючих сланцев будет крупнейшей мировой отраслью по переработке низкосортного минерального сырья, его добыче и перемещению в пространстве в масштабах, до сих пор не встречавшихся». Действительно, для функционирования завода мощностью 8 тыс. м³/сут сланцевого масла (или **смолы**, как принято именовать этот продукт в нашей стране), будет перерабатываться 24 млн. т сланцев в год, из которых в отвал пойдет 20 млн. т. Когда же говорят о будущей *отрасли*, то её мощность оценивают в 160 тыс. м³/сутки, что отвечает добыче 480 млн. т сланца в год! Для сравнения укажем, что добыча угля в США в 1970-е гг. была близка к 600 млн. т в год.

Уровень добычи эстонских сланцев составляет около 35 млн. т/год и постоянно растет, ибо потребность в электроэнергии близлежащего экономического района превышает предложение.

Примерная оценка показывает, что через 10–15 лет после начала, добыча сланцев в Коми АССР может составить около 2 млн. т/год, то есть около 10 % нынешней добычи Печорского угольного бассейна. Даже если сланцы будут использоваться только в топках ТЭС (способ, дающий наименьшее количество отходов), будет оставаться как минимум 1.2 млн. т золы ежегодно. Надо также учесть, что 2 млн. т сланца при объемной массе 1.6–1.8 т/м³ — означает свыше 1 млн. т горной массы, извлекаемой из недр ежегодно. Если же учитывать и объем пород вскрыши при открытой разработке, то объем горной массы, попадающей на поверхность, нужно будет увеличить ещё в 5–10 раз.

Таким образом, добыча сланцев в крупных масштабах породит как минимум две экологические проблемы:

1) ликвидация отработанного пространства при шахтной добыче, и, что гораздо серьезнее, засыпка карьеров с последующей их рекультивацией — при открытой добыче;

2) утилизация отходов сланцедобычи, обогащения и переработки.

По геологическим признакам больше всего похожи на наши сланцы сызранские (Кашпирское месторождение), имеющие тот же возраст и близкий состав пород вскрыши и сланценосной толщи. В 1960-х гг. сызранские сланцы отрабатывались тремя шахтами, проектной мощностью от 300 до 600 тыс. т/год каждая. Шахта №3, построенная в 1959 г., имела глубину 240 м (вертикальный ствол), при полезной мощности разрабатываемого пласта 1.05–1.10 м. Отработка производилась длинными столбами (450–480 м), управ-

ление кровлей осуществлялось полной забутовкой выработанного пространства. Очень немного породы выдавалось на поверхность – 5,5 % к добытому сланцу [1]. Американские специалисты [45] полагают, что добыча основной массы сланцев Грин-Ривер будет осуществляться шахтным способом, и около 15–20 % будет добываться карьерами. Если шахты крупные, то стоимость обоих способов близка. Считают, что карьеры рентабельны для добычи только богатых сланцев (с выходом смолы не ниже 95 л/т), при небольшой вскрыше (от 0,5:1 до 2,5:1), и при мощности не ниже 100 тыс. т/сут. Заметим, что себестоимость кашпирских сланцев в 1960-е гг. составляла 4,43 рубля за тонну.

Если при шахтной добыче нужно будет практически считаться только с отходами обогащения сланцев, то при карьерной добыче необходимо заранее думать и о том, что делать с огромными массами «пустых» пород вскрыши. Очень может быть, что придется добывать сланцы и при таких соотношениях вскрыши, как 10:1, а может быть и при ещё менее благоприятных. Американцы намереваются по меньшей мере 40 % продуктов сланцепереработки и обогащения складировать в карьеры, уплотнять и рекультивировать, причем готовы к тому, что длительное время (пока карьеры не будут достаточно выработаны) и породы вскрыши, и отходы сланцепереработки придется хранить на поверхности вне карьеров. Возможно, радикальным решением проблемы является грандиозный проект департамента внутренних дел США, согласно которому все разработки объединяются в единую систему с карьером глубиной до 600 м: *«весь район разработок станет частью «объединенной системы», которая в конечном итоге сможет охватить как карьеры, так и шахты. После окончания разработки карьер будет заполнен и культивирован, так что в районе восстановятся первоначальные условия»* [45, с. 226].

Как перегонка сланцев, так и сжигание их в топках ТЭС создаёт угрозу воздушному бассейну; особую проблему представит сжигание высокосернистых сланцев, таких как айювинские. Не исключено, что окажется выгодным их обогащение с получением пиритного концентрата. В Бразилии, как известно, производство серы при переработке пермских сланцев Ирати служит важной статьёй дополнительной прибыли.

И всё же главная экологическая проблема состоит в утилизации золы сланцев. Здесь нам мало что может дать зарубежный опыт, ибо в центре внимания западных специалистов – получение сланцевой смолы, а не сжигание сланцев. Поэтому, например, ни в одной работе, рассматривающей освоение сланцев Грин-Ривер, вопрос утилизации золы даже не рассматривается: обсуждают лишь вопросы захоронения отходов. У нас же ситуация совершенно иная; качество наших сланцев так низко (теплотворная способность большинства

разведанных пластов ниже 2000 ккал/кг), что их можно рассматривать в основном как низкосортное энергетическое топливо. Следовательно, утилизация огромных масс сланцевой золы является для нас проблемой № 1.

Известно, что на многих ТЭЦ применяют гидрозолоудаление. Как убедительно показал А. А. Новопашин, применение этого способа совершенно недопустимо:

«Из-под осадительных устройств зола водю смывается в шлаковую канаву, по ней пульпа самотеком стекает на поля осадения. На Сызранской ТЭЦ для этой цели используется овраг, перегороженный дамбой: зола оседает на дно оврага, а вода с растворенными в ней веществами стекает в р. Волгу. По мере накопления осевшей золы дамба наращивается. Такой способ золоудаления обладает одним очень существенным достоинством — исключает образование пыли, но является дорогой операцией: по данным Сызранской ТЭЦ, ежегодные затраты на золоудаление составляют около 400 тыс. руб.³ Пока (это писалось в 1973 г. — Я.Ю.) загрязненные воды сбрасываются в Волгу, но со временем неизбежно возникнет вопрос об их очистке, и тогда стоимость гидрозолоудаления увеличится еще больше.

Большой недостаток гидрозолоудаления — необходимость чистки шлаковых канав. Частицы золы, оседая в канавах, постепенно цементируются, вследствие чего канавы зарастают. Образующийся осадок приобретает столь высокую прочность, что его с большим трудом удастся разбить отбойными молотками. Основным же недостатком гидрозолоудаления является то, что во время транспортировки золы водой и последующего отстаивания в котловане-золохранилище полностью вымывается свободная СаО и гидратируются активные минералы и шлаковое стекло, определяющие вяжущие свойства золы <...>. Гидратированная зола не обладает вяжущими свойствами, а активность ее как гидравлической добавки очень мала. Из-за преобладания пылевидных зерен она не представляет интереса как мелкий заполнитель в бетонах и растворах и как сырье для известково-шлакового кирпича. К этому надо добавить, что разработка осажженной золы в настоящее время связана с преодолением больших технических трудностей, так как пропитанная водю зола представляет собой массу, по которой невозможно перемещение не только тяжелых механизмов, но даже пешеходов» [42, с. 47].

³ Или, по этим же данным, удельные затраты: 0.5 руб/тонну золы

4. ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ КОМИ АССР И ИХ ОСВОЕНИЕ

Горючие сланцы на территории Республики были обнаружены в геологических маршрутах второй половины 19-го века. В дальнейшем изучение их проводилось эпизодически и в небольших объемах. Последнее обобщение фондовых и опубликованных материалов, включая и геолого-поисковые работы Ухтинской ГРЭ 1977–79 гг., дано в докладе И. Я. Зытнера и В. А. Зинченко на IX геологической конференции Коми АССР в 1979 г.

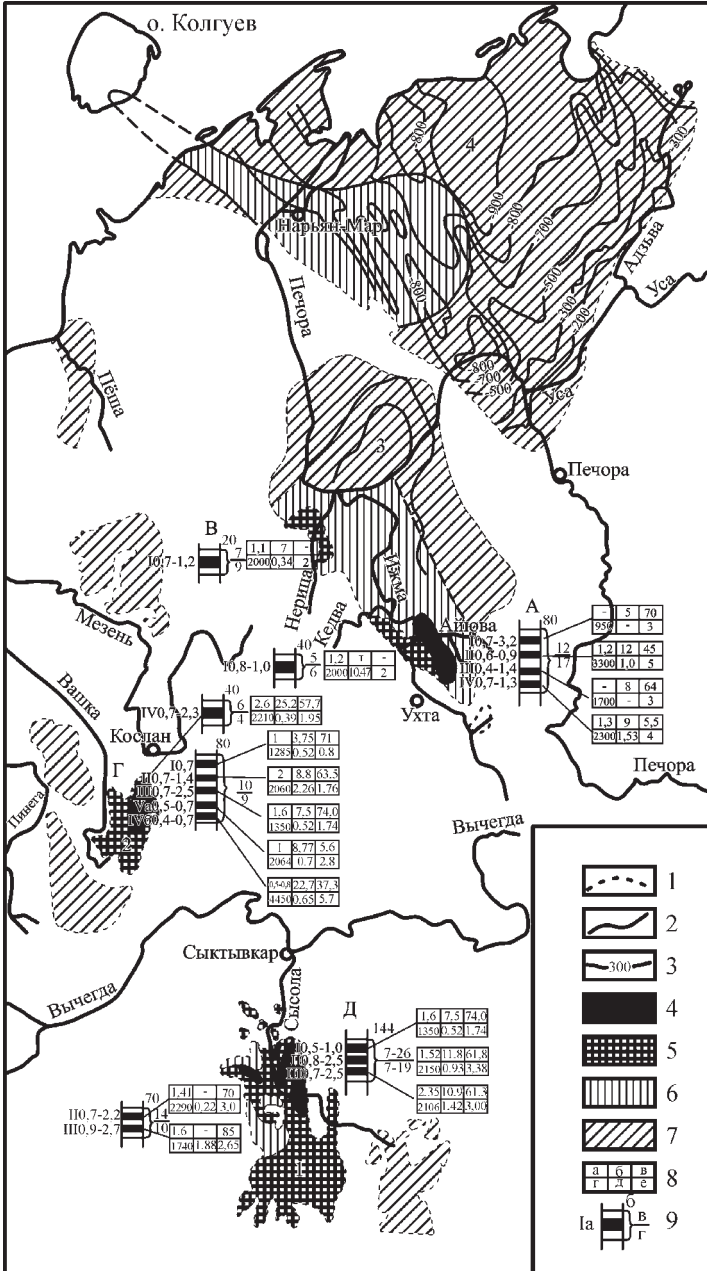
В дальнейшем сотрудники Производственного геологоразведочного Объединения «Полярноуралгеология», главным образом – работники Вычегодской партии УГРЭ, ведущей разведку сланцев (Л. Ф. Васильева, В. М. Капитанов) совместно с геологами Института геологии Коми филиала АН СССР (В. А. Дедеев, В. А. Молин и др.) выполнили, на основе всех полученных на 1.05.1981 г. данных прогноз сланценосности Европейского Севера СССР, включая Большеземельский бассейн, находящийся уже за пределами Коми АССР. В этой работе приведены наиболее подробные и современные геологические данные [22], из которых мы здесь используем лишь минимально-необходимые.

4.1. Три сланценосных бассейна Коми АССР

В настоящее время на территории Коми АССР в составе так называемой Тимано-Волжской сланценосной провинции юрского возраста общепринято выделение двух регионов: Ижемского и Вычегодского. Последний подразделяют на два района, и таким образом выделяют три сланценосных бассейна: Ижемский, Яренгский и Сысольский, а за пределами Республики – Большеземельский бассейн (рис. 1).

Во всех трех бассейнах горючие сланцы приурочены к песчано-глинистым и мергелистым образованиям волжского яруса верхней юры. Сланцы среднеюрского возраста развиты только локально и почти не изучены.

Ижемский сланценосный бассейн протягивается широкой полосой вдоль восточного склона Тимана, в непосредственной близости от Ухтинского промышленного района, где сосредоточена переработка нефти и газа. Бассейн пересекается Северной железной дорогой и р. Печорой и поэтому легко доступен как для разведки, так и для эксплуатации. Изучено одно крупное месторождение – Айювинское с балансовыми запасами по категории C_2 ~550 млн. т и с прогнозными запасами 5.8 млрд. т. Прогнозные запасы Ижемского сланценосного бассейна по категории D_1 составляют для сланцев с калорийностью > 1500 ккал/кг – 1530 млн. т, а для входящих в их состав сланцев с калорийностью > 2000 ккал/кг – 1338 млн. т. Запасы по категории D_2 составляют 10 млрд. т.



о. Колгуев

Нарьян-Мар

Печора

Печора

В

10,7-1,2	20	1,1	7	1
	9	2000	0,34	2

10,8-1,0

5	1,2	1	-
6	2000	0,37	2

10,0,7-2,3

6	2,6	25,2	57,7
4	2210	0,39	1,93

10,7

1	8,75	71
1288	0,52	0,8

10,0,7-1,4

2	8,8	63,3
2060	2,26	1,76

10,0,7-2,5

10	1,6	7,5	74,0
9	1380	0,52	1,74

10,0,5-0,7

1	8,77	5,6
2000	0,7	2,8

10,0,4-0,7

1500	2,7	37,3
4430	0,63	5,7

А

5	70	
950	-	3
1,2	12	45
3300	1,0	5
-	8	64
1700	-	3
1,3	9	5,5
2300	1,53	4

Г

10,7	1,4	-	70
2290	0,23	3,0	

10,7-2,2

70	1,4	-	70
4	2290	0,23	3,0

10,9-2,7

10	1,6	-	85
1740	1,82	0,65	

Д

1,6	7,5	74,0
1350	0,52	1,74

10,5-1,0

144			
7-26	1,52	11,8	61,8
7-19	2150	0,93	3,33

10,8-2,5

2,35	10,9	61,3
2160	1,42	3,03

10,7-2,5

1	8,77	5,6
2000	0,7	2,8

Яренгский сланценосный бассейн административно входит в Коми АССР и частично – в Ленский район Архангельской области. По его территории проходит железная дорога, соединяющая ст. Кослан со ст. Микунь Северной ж.д. Разведанных месторождений пока нет, но наиболее перспективными (по качеству) считают сланцы на р. Чим. Геологические запасы по категории D_2 по восточной части района (бассейна) оценивают не менее чем в 4 млрд. т.

Сысольский сланценосный бассейн расположен в 40–150 км к югу от г. Сыктывкара, в хорошо освоенной и населенной местности, причем южная часть заходит в Кировскую область. На севере района разведано Ибское месторождение с запасами по категориям $C_1 + C_2$ 11.9 млн. т, на юге (в Кировской области) – Синегорское месторождение, с запасами 911 млн. т.

Основные данные по всем трем сланценосным бассейнам сведены в табл. 1. Необходимо отметить, что наиболее благоприятны для освоения сланцы Ижемского бассейна. Они самые высококачественные, залегают на доступных глубинах, образуют достаточно мощные пласты, исключительно выгодно расположены. По сравнению с ними все показатели горючих сланцев Сысольского бассейна выглядят намного хуже; сланцы же Яренгского бассейна занимают по своим показателям промежуточное положение.

Отметим, что прогнозные запасы горючих сланцев, подсчитанные в коллективном препринте-1981 [22], и приведенные в табл. 1 оценки И. Я. Зыгнера и В. А. Зинченко [26], сильно различаются, так как те и другие авторы использовали разные методики подсчетов. Оценки в табл. 1 можно рассматривать как наиболее оптимистические.

Рис. 1. Карта прогноза сланценосности Европейского Севера СССР. 1–4 – сланценосные бассейны: 1 – Сысольский, 2 – Яренгский, 3 – Ижемский, 4 – Большеземельский. А–Д – сланценосные районы: А – Айювинский, Б – Ижма-Кедвинский, В – Нерицкий, Г – Чим-Лоптюгский, Д – Поингский. 1 – границы распространения волжских сланценосных отложений; 2 – границы районов и площадей с подсчитанными прогнозными запасами горючих сланцев; 3 – изогипсы подошвы среднеюрских отложений; 4–7 – земли, перспективные на горючие сланцы с калорийностью ≥ 2000 ккал/кг: 4 – высокоперспективные с плотностью запасов более 2 млн. т/км², 5 – перспективные с плотностью запасов 1–2 млн. т/км², 6 – малоперспективные с плотностью запасов менее 1 млн. т/км², 7 – геологически слабо изученные, но предположительно перспективные; 8 – характеристики пластов горючих сланцев: а – сланцеплотность (млн. т/км²), б – выход сланцевой смолы (%), в – зольность (%), г – теплота сгорания сухой пробы (ккал/кг), д – прогнозные геологические запасы (млрд т.), общее содержание серы в сланце; 9 – характеристика сланценосной толщи: 1–IV – номера пластов горючих сланцев, а – мощность пласта, б – максимальные глубины залегания толщи, в – количество слоев и прослоев горючих сланцев в толще; г – мощность толщи.

Взято из препринта В. А. Дедеева и др., 1981 г. [22, с. 6–7].

Таблица 1

**Общая характеристика юрских сланцевосных бассейнов Коми АССР
(по данным И. Я. Зыгнера, В. А. Зинченко, 1979 г.)**

Показатели	Ед. изм.	Бассейны		
		Ижемский	Яренгский	Сысольский
Площадь сланцевосных отложений	тыс. км ²	15	10	9
Прогнозные запасы, при средней мощности пласта 3 м	млрд. т	17	11	13–15
Мощность сланцевосной толщи	м	12–27	До 80	17–23
Количество пластов горючих сланцев	пласт	До 15	До 9	1–5
Мощность пластов горючих сланцев	м	0,2–2,0	0,3–3,6	0,2–3,0
Мощность суммарного пласта	м	6–7	До 7,3	До 15
Глубина залегания сланцев	м	От поверхности до 250	Близко к поверхности	От 40–80 на севере до 150–200 на юге
Средняя теплотворная способность горючих сланцев	Ккал/кг	Более 3000	Более 2000	Менее 2000

4.2. Сравнительные данные о качестве наших сланцев

В работе [22] дано обобщение имеющихся данных о качестве сланцев перечисленных трех бассейнов (табл. 2–4), и некоторые сравнительные сопоставления наших сланцев с другими месторождениями Союза (табл. 5).

Горючие сланцы пласта II в 1942 г. перерабатывали на жидкое топливо, для чего была сооружена экспериментальная сланцеперегонная установка. Перегонка смолы дала (в вес. %): бензина (с температурой кипения 80–

Таблица 2

Данные технических анализов горючих сланцев Айювинского района [22, с. 22]

Пласты	Q _c ^b , ккал/кг	W _d , %	A ^c , %	S _{обн} , %	CO ₂ , %	Сухая перегонка по Фишеру		
						Тс	Полу- коке	Газ + потери
II	3650	4.1	44.9	5.2	12.0	17.8	63.2	9.9
IV	2300	3.5	55.1	5.3	13.3	10.4	79.9	6.6
III	1500	1.4	64.2	2.5	15.1	7.4	87.1	4.11
I	950	1.8	69.9	1.9	12.7	4.9	91.9	1.8

110°) – 35–38, керосина (220–315°) – 30–35, масляной фракции (3.5–360°) – 20, остаток – 8–12.

В данных табл. 3 обращает на себя внимание хорошая характеристика пласта IV на р. Чим (сочетание хорошей мощности и повышенного качества сланца).

В данных табл. 4 примечательны характеристики пласта III Поингской площади: при хорошей средней мощности (1.5 м) он обладает средней калорийностью 2.106 ккал/кг с выходом смолы 8.1–10.3 %. Благоприятным фактором как этого, так и других пластов сланцев Сысольского бассейна является довольно высокая карбонатность – это увеличивает ценность их золы. Это замечание еще в большей степени относится к сланцам Ижемского и Яренгского бассейнов.

Как видно из табл. 5, характеристика качества сланцев наших лучших месторождений ни в чем не уступает давно эксплуатируемым сланцам Поволжья, а сланцы Айювинского месторождения значительно лучше поволжских. Что касается ордовикских кукурситов Прибалтики, то сравнение с ними не имеет особого смысла: во всем мире нет сланцев, которые могли бы равняться с кукурситами по качеству; в этом смысле последние представляют собою уникальный сырьевой объект, не имеющий аналогов.

Таблица 3
Данные технических анализов горючих сланцев Яренского сланценосного бассейна [22, с. 19]

Место-положение	Пласты	Мощность пласта, м	W ^a , %	CO ₂ , %	A ^c , %	S _{фин.} , %	Q ₆ ^c , Ккал/кг	Сухая перегонка по Фишеру			
								Влага	Смола	Полу-кокс	Газ + потери
Р. Лоптюга	I	0.71	1.80	9.7	71.0	0.82	1285	1.2	3.75	81.0	7.8
	II	0.77	2.75	12.0	64.6	1.30	1570	2.4	10.2	80.0	4.7
	II	1.33	3.17	10.2	61.1	1.97	2000	3.9	8.6	76.9	6.0
	II	1.43	1.14	3.3	66.0	1.54	2007	2.6	9.0	76.6	6.1
Р. Лоптюга	III	1.59	2.30	15.7	64.2	1.79	1369	1.5	6.7	84.6	3.8
	III	1.10	2.54	11.9	68.4	1.55	1184	2.3	5.5	83.2	4.1
	III	2.43	1.0	4.6	69.5	1.87	1181	2.6	5.9	84.6	2.7
Р. Чим	IV	1.69	1.8	12.5	63.0	1.42	2384	3.9	7.08	84.2	3.4
	IV	2.28	1.69	14.7	54.8	2.82	2246	3.3	11.24	77.9	6.9
	IV	0.93	3.22	11.6	56.2	2.43	2102	3.4	14.65	77.7	3.2
	IVсред.	0.76	2.97	6.4	32.2	6.0	4913	5.0	25.2	59.0	13.0
Р. Чим	IVсред.	0.55	1.73	5.2	36.0	3.6	5315	8.3	20.1	49.0	15.2
	IVa	0.7	1.07	1.6	55.6	3.1	2110	2.5	9.2	78.1	5.6
Р. Лоптюга	IVб	0.7	3.8	11.9	41.8	5.14	3802	-	-	-	-
	IVб	0.4	3.31	4.2	32.5	6.27	5082	5.6	22.78	65.0	3.8
	IVсред.	0.8	0.71	14.8	63.1	2.43	1540	3.6	2.7	82.6	5.9
Р. Кевдом		0.8	2.50	11.7	68.4	1.25	1272	3.5	5.65	87.3	1.05

Таблица 4
Данные технического анализа горючих сланцев Сысольского сланценосного бассейна [22, с. 14]

Районы	Пласты	Мощность пласта*	A ^c , %	CO ₂ , %	S _{обит} , %	Q ^c , ккал/кг*	T ^c , %
Левобережный	II	(0.7–2.2) /0.9	63–74	6.4–7.8	2.3–4.0	(1600–2490) /2290	-
	III	(0.9–2.7) /1.48	59.5–68.0	10.0– 15.7	2.3–3.9	1000–1880 /1470	-
Понингский	I	(0.50–1.0) /0.85	70.0–77.0	3.9–9.0	1.08– 2.4	1080–1855 /1350	7.5
	II	(0.8–2.5) /1.17	59–71	6.0– 10.0	1.0–5.4	1560–2360 /2150	8.5–11.8
	III	0.7–2.5) /1.5	60–68	7.0– 14.0	1.2–3.3	1570–2450 /2106	8.1–10.3
Горючие сланцы зоны Dorsoplanites maximus		0.06–0.08	43.3–46.0	0.4–4.6	8.3	3898–4160	
		0.50	59.0	10.0	4.0	2350	
Горючие сланцы сероцветной пачки		0.15	34.0–40.6	8.3–9.2	5.9	3900–4542	20.6
		0.04	22.8	2.7	6.6	5605	28

* Примечание: в числителе – пределы, в знаменателе – среднее значение

Таблица 5
Сравнительная характеристика усредненных показателей горючих сланцев месторождений СССР [22, с. 30]

Место-рождения	Пласты	W ^m , %	A ^c , %	CO ₂ , %	S _{общ} , %	Q ₆ ^c , Ккал/кг	Сухая перегонка по Фишеру			
							T ^c , %	широгонная вода	полу-кокс	газ + потери
Эстонские		10.0	47.0	18.0	1.5	3150	25.5	2.9	63.8	7.8
Ленинградские		10.0	48.7	17.0	1.6	3100	22.0	1.9	70.5	5.6
Кашпирское		20.0	58.9	12.1	5.3	2500	12.9	2.0	78.7	6.4
Айювинское	II пласт	4.1	44.9	12.0	5.2	3650	17.8		63.2	9.9
Ибское		13.5	63.7	8.0	2.8	1107	6.4	3.2	87.0	8.0
Левобережное	II пласт		68.5	7.1	3.1	2300				
Поингское			65.0	8.0	3.2	2160	10.3			
Яренгское (р. Чим)	IV пласт		57.7		1.95	2211	10.7			
	средний слой IV пласта*	2.9	36.0	4.9	4.0	4683	20.1	6.3	62.8	9.5

4.3. Нужно ли осваивать наши сланцы?

Наличие богатейших ресурсов горючих сланцев само по себе еще не означает, что их освоение экономически целесообразно. Последнее, следовательно, должно доказываться, а не декларироваться. Стимулом к освоению горючих сланцев является, прежде всего, потребность в электроэнергии.

Мировой энергетический кризис 1973 г., хотя и не был у нас таким острым, как на Западе, несомненно, коснулся и нашей страны. Как известно, для восполнения дефицита в энергетических ресурсах Европейской части страны Советом Министров СССР 21 июля 1976 г. было принято постановление № 574, согласно которому сланцедобыча с 34 млн. т в 1975 г. должна быть доведена до 70 млн. т в 1990 г. Территория Коми АССР, по мнению И. Я. Зытнера, В. А. Зинченко [26] принадлежит к числу перспективнейших для организации сланцедобычи. Необходимость освоения дешевых ресурсов горючих сланцев в непосредственной близости от мест их потребления диктуется напряженным положением с электроэнергией в связи с мероприятиями по формированию Тимано-Печорского ТПК.

На развитие энергетики Коми АССР в 10-й пятилетке было направлено около 300 млн. рублей капвложений – в 1,9 раза больше, чем в 9-ой пятилетке, но в предстоящие годы понадобится значительно большее производство электроэнергии в связи с предстоящим освоением руд алюминия и титана. Полагают, что понадобится строительство ТЭЦ глиноземного завода мощностью 285 мВт и ТЭЦ Ярегского титанового комбината мощностью 260 мВт [34, с. 68].

Ещё в 1940 г. Проектно-изыскательская контора Ухткомбината составила технико-экономические соображения (ТЭС) по использованию тиманских горючих сланцев (Айювинское месторождение) для энергетических целей. Авторы ТЭС доказали, что для ухтинского района использование сланцев экономически более выгодно, чем использование привозного интинского угля. Была также подчеркнута возможность комплексного (не только энергетического, но и технологического) использования сырья.

28–29 июля 1977 г. в Сыктывкаре состоялся Пленум Северо-Западного отделения научного Совета АН СССР по комплексным проблемам энергетики. Одним из выводов Пленума было указание на необходимость усиления геолого-разведочных работ на горючие сланцы. В качестве одного из вариантов рекомендовалось рассмотреть строительство новой ГРЭС на юге Коми АССР, мощностью 4–6 Мвт, работающей на сланцах. Кроме того, рекомендовалось провести всесторонние исследования как органической, так и минеральной частей горючих сланцев с целью их комплексного использования: в энергетике, химической промышленности, сельском хозяйстве и строительстве. Наконец, в 1979 г. Коми филиалом АН СССР было подго-

товлено специальное письмо, в котором рассматривался вариант использования сысольских сланцев — сжигание их на ТЭЦ газохимического комплекса в районе с. Часово. Ежегодная потребность этой ТЭЦ будет составлять около 2 млн. т сланцев.

Из общих соображений понятно, что экономическая целесообразность освоения сланцев как сырья для производства электроэнергии определяется стоимостью получаемой энергии, в сравнении, например, со стоимостью энергии из привозного угля. Для ижемских сланцев, как указывалось выше, этот показатель благоприятный, но для сысольских и яренгских, насколько нам известно, никаких серьезных экономических проработок не выполнялось. При таких оценках полезно иметь в виду соображения, приводимые Г. З. Вольфсоном [14] для прибалтийских сланцев. По сравнению с привозным подмосковным углем, расход сланцев (в условном топливе) для выработки равного количества электроэнергии, выше на 9.7 %. Кроме того, постоянные эксплуатационные расходы электростанции при сжигании сланцев выше на 5.6 % и составляют около 30 % суммарных расходов. Удельные капиталовложения на строительство ТЭС как на угле, так и на сланцах примерно одинаковы. *«Поэтому можно считать, что для получения равной выработки электроэнергии по отпуску с шин станции, горючих сланцев в условном топливе, по сравнению с углем, расходуется как бы на 11.5 % больше. Следовательно, горючие сланцы для получения равных с углем эксплуатационных затрат должны быть на 13 % дешевле»* [14, с. 156].

Очевидно, что для наших условий все эти цифры получатся иными. С одной стороны, завоз интинских углей, допустим, в район Часово, дешевле, чем подмосковных — в Прибалтику. Но с другой, — качество наших сланцев гораздо хуже; соответственно, выше себестоимость тонны условного топлива.

Важно подчеркнуть, что энерготехнологический передел сланцев значительно экономичнее, нежели их простое сжигание: *«Дальнейшее развитие энергетики на базе горючих сланцев намечается вместо прямого сжигания твердого топлива, за счет сжигания продуктов их термического разложения. По сравнению с электростанцией, сжигающей сланец в пылевидном состоянии, комплексное энерготехнологическое использование его позволяет сэкономить примерно 10 % капитальных вложений и почти 20 % эксплуатационных расходов. При этом достигается также резкое уменьшение загрязнения атмосферы»* [14, с. 157].

При энергетическом (и тем более при химическом) использовании наших сланцев совершенно неизбежной необходимостью явится обогащение сланцев. **Думается, что все разработки, выполняемые без учета обогащения — неверны.** Обратимся к опыту разработки богатейших эстонских сланцев. Чистое органическое вещество кукерситов (кероген) имеет теплотворную спо-

способность Q^b_c 8900 ккал/кг, тогда как теплотворная способность самого сланца, вследствие его высокой зольности, составляет 2200–4000 ккал/кг. Между тем в сланцеперерабатывающей промышленности используют сырьё с теплотворной способностью 3100–3500 ккал/кг, а в энергетике – 2600–3100 ккал/кг. Значит, при добыче чистого сланца он не всегда годен даже для сжигания. В действительности же дешёвая, экономически оправданная добыча чистого сланца просто невозможна. На Эстонском месторождении разрабатываются четыре пласта сланца (20–90 см) вместе с разделяющими их слоями известняков (10–24 см) – так называемый «промпласт», имеющий теплотворную способность 1800–2300 ккал/кг. На Ленинградском месторождении четыре слоя сланцев (15–52 см) вместе с известняками (11–27 см) образуют «промпачку» с теплотворной способностью ещё более низкой: 1550–1900 ккал/кг. Отсюда и вытекает необходимость обогащения сланцев перед их использованием. По сильно устаревшим данным на 1968 г., в Прибалтике работали три обогатительных фабрики мощностью 5 млн. т сланца в год и строились ещё две по 5 млн. т каждая [36]. При обогащении путем отсадки в тяжёлых средах получают так называемый «технологический сланец» крупностью 25–125 мм, в отходы же идет с одной стороны, более крупный щебень, с другой – мелочь. Последняя содержит ОВ столько же, как и исходный сланец.

Заметим, что, по мнению некоторых крупных специалистов, **процесс обогащения не только необходим, но и относительно дешёв**. Выступая в Таллине на I симпозиуме ООН по горючим сланцам, З. С. Каминский сказал: *«Такие дешёвые и стандартные процессы, как отсадка при обогащении в тяжёлых средах, при минимальной потере органической массы из рядовых малокалорийных сланцев даёт концентраты с теплотворной способностью 3500 ккал/кг. Стоимость переработки 1 т товарного сланца составляет при этом только копейки»* [30, с. 223].

Однако так может быть решена задача обогащения сланцев для термической переработки; гораздо сложнее получение концентратов керогена для химического использования, например, для окисления [2]. Для этого требуется сильное дробление сланца. И здесь подходящим сырьём может оказаться сланцевая мелочь, получаемая как отход при обогащении сланцев. Опыты по обогащению Айювинских сланцев показали, что концентрат с содержанием керогена 83.5 % и извлечением 85 % удаётся получить при многоступенчатом центрифугировании с двукратным отмучиванием глины.

Нет никакого сомнения, что все наши сланцы (и тем более такие бедные, как сысольские), будут обогащаться намного хуже, чем прибалтийские, где вмещающей и сопровождающей породой является сравнительно хрупкий и тяжёлый известняк, а не легкая и вязкая глина, как в наших сланцах.

Нужно иметь в виду, что все приведенные материалы могут не показаться убедительными для экономистов. Так, в рецензии на эту работу научные сотрудники Отдела экономики Коми филиала АН СССР, кандидаты экономических наук В. А. Старцев и Д. А. Коновалов отметили, что экономическая целесообразность освоения горючих сланцев нами *«ни в коей мере не доказана. Сегодня, да и в перспективе до конца XX века вряд ли проблема освоения этого природного ресурса в республике примет характер практического решения. Заниматься сейчас эффективностью трудно, т. к. ресурс не изучен в нужной степени, не подготовлен к освоению и сложно, т. к. район располагает комплексом конкурирующих топливно-энергетических ресурсов»*. Названные специалисты считают, что *«в настоящее время может стоять вопрос об изучении горючих сланцев Коми АССР, но не о проблемах их промышленного освоения»*.

До сих пор мы рассматривали экономику сланцедобычи лишь в традиционном русле, когда полезным сырьевым компонентом считается только органическая часть сланца, а вся минеральная часть представляет собою «отходы». **Однако проблемы экономики получают совершенно иное освещение, если минеральную часть сланцев (а частью и породы сланценосного разреза) рассматривать как комплексное органо-минеральное сырье, в котором минеральное вещество сланцев является таким же сырьем, как и органическое.** Мы видели, что необходимость именно такого подхода, помимо прочего, настоятельно диктуется экологическими соображениями. Однако важно подчеркнуть, что то, что экологично, то, в конечном счете, оказывается и высокоэкономичным.

В этой связи для нас очень полезны экономические проработки по использованию в стройиндустрии зольной части поволжских сланцев, весьма схожих с нашими по всем основным характеристикам. Огромный опыт, накопленный предприятиями в Поволжье, показал значительное снижение стоимости стройматериалов с применением сланцевой золы. Это снижение составляет в среднем, в руб/м³:

изготовление строительных изделий и конструкций	
из тяжелого бетона	0.70
изготовление товарного бетона	0.77
производство строительных растворов	1.40
изготовление конструкций из конструктивно-теплоизоляционного бетона	2.60
изготовление изделий из газобетона	от 1.85 до 4.50
производство аглопорита	1.61

Исключительный интерес представляет расчет потребности в сланцезольных отходах и получаемый экономический эффект, выполненный для Поволжья на 1980 г. [42]. При годовой потребности в стройматериалах (включая: сборный бетон и железобетон, товарный бетон, товарный раствор, газобетон и аглопорит), равной 48.701 млн. м³, потребность в минеральной части поволжских сланцев составит 21.342 млн. т горной массы добытого сланца, а экономический эффект (годовая экономия) – 48.54 млн. руб. Даже при существующем (на 1973 г.) уровне добычи сланца 1.2 млн. тонн в год, полное использование минеральной части дало бы в Поволжье ежегодный доход около 5.7 млн. руб. Как заключает А. А. Новопашин [42, с. 117] *«отходы от добычи и переработки сланца могут решить проблему обеспечения строительными материалами и деталями целого района».*

Думается, что перенесение опыта многолетней разработки поволжских сланцев на наш регион вполне оправдано, так как быстрое развитие экономики Коми АССР требует очень значительного и все возрастающего количества различных стройматериалов. **Использование минеральной части сланцев будет эквивалентно разработке нескольких крупных месторождений песка, глины, гравия, известняка – всех тех сырьевых компонентов, которые необходимы для производства цемента и бетонов.**

5. ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Минеральная часть горючих сланцев, ранее считавшаяся «отходом», в действительности представляет собою интереснейший сырьевой объект многоцелевого назначения. В предыдущем изложении мы по необходимости уже касались этого вопроса; рассмотрим его более подробно.

5.1. Использование золы сланцев в качестве вяжущего

По своему химическому составу зола твердых топлив содержат все необходимые компоненты для образования клинкерных минералов. При этом основные золы, богатые СаО, иногда могут использоваться для производства клинкера даже без добавок, так как их состав практически отвечает составу клинкера: в них достаточно как карбонатного, так и глинистого компонента. Кислые золы, имеющие состав, близкий к составу глин, могут заменить в составе клинкерной сырьевой шихты глинистый компонент; их вводят в шихту, обычно в смеси с глиной или высококремнистым компонентом. Известны золы углей, сильно обогащенные глиноземом, и некоторые цементные производства сильно нуждаются именно в таких золах (Здолбуновский комбинат, Алексеевский и Старооскольский заводы и др.).

В составе сланцевой золы имеются свободные окислы СаО и MgO, а также гидратирующиеся силикаты, алюминаты и ферриты Са. Например, зола ЦЭС сланцедобывающего и сланцеперерабатывающего комбината в г. Сланцы содержит около 36 % СаО, из них до 20 % приходится на долю свободной СаО; кроме того, в золе содержится около 3 % MgO [1, с. 43]. В сырьевых сланцах содержание СаО и MgO в золе, по нашим оценкам, в среднем около 25 и 3 % соответственно. Наличие этих компонентов придаёт золам свойства вяжущих веществ.

Для оценки пригодности зол и шлаков для цементной промышленности применяют показатели химического состава золы, главнейший из которых — модуль основности (или гидравлический модуль) **Mo** и силикатный модуль **Mc**:

$$Mo = (CaO + MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3)$$

$$Mc = SiO_2/(Al_2O_3 + FeO + Fe_2O_3)$$

Так называемые кислые золы и шлаки имеют значения **Mo** в пределах от 0.05 до 0.90, основные — 1.00—1.1 [21].

По химическому составу золошлаковые отходы ТЭС должны удовлетворять требованиям ТУ 34-4617-71:

Показатели	Золошлаковые отходы	
	кислые	основные
SiO ₂	Не менее 40	Не нормируются
SO ₃	Не более 2	Не более 5
Свободная СаО	—	Не более 10
Щелочные оксиды в пересчете на Na ₂ O	Не более 2	Не более 2
ППП (несгоревшие час- тицы топлива)	Не более 5	Не более 5

Кроме того, эти ТУ оговаривают следующие показатели, регламентируемые ОСТ 21-9-74 «Добавки активные минеральные к вяжущим веществам»: обеспечивать конец схватывания теста, изготовленного из смеси соответствующего образца и известки-пушонки, не позднее суток после затворения; обеспечивать водостойкость образца из того же теста в течение трех суток после конца схватывания.

Так как получающееся в золе силикатное стекло содержит силикаты К и Na, также дающие при гидролизе щелочную реакцию, то некоторые авторы считают возможным рассчитывать **Mo** в форме

$$\mathbf{Mo} = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

Такой расчет был нами сделан для проанализированных в Институте геологии некоторых проб типичных сланцев Сысольского сланценосного района. В табл. 6 показан расчетный состав золы этих сланцев; расчетный потому, что мы анализировали неозоленный натуральный сланец и показатели состава золы получили путем пересчета, с учетом величины потерь при прокаливании (ППП), определяемых при 1000°. Как видно из табл. 6, содержания в золах СаО весьма изменчивы: от таких низких значений, как 2.62 % до 30 %. В соответствии с этим и модуль **Mo** испытывает значительные колебания от 0.11 до 0.37. Но даже наиболее карбонатные сланцы должны по этому модулю квалифицироваться как «кислые». Обращает на себя внимание высокое содержание фосфора в пробе 23с; этот сланец явно содержит примесь фосфорита. То, что это не случайно, видно и в анализах зол сланцев Ибского месторождения, где содержание P₂O₅ составляло 6.08 %! [22, с. 12].

От исходного количества карбоната в сланцах зависит важнейший показатель их зол — количество свободной СаО. От последнего, в свою очередь, зависят свойства золы как вяжущего. Весьма важны для нас исследования этих свойств для зол поволжских сланцев, наиболее близких к нашим [42].

Таблица 6

**Расчетный состав золы (А^а1000) горючих сланцев
Сысольского сланценосного района**

Компоненты	7М	20с	23с	27с	134 м
SiO ₂	47.43	37.84	45.40	60.96	45.30
TiO ₂	0.54	0.48	0.92	0.65	0.76
Al ₂ O ₃	16.31	14.00	14.31	19.59	15.89
Fe ₂ O ₃	6.76	8.54	21.47	9.21	8.34
MgO	2.50	2.16	3.07	2.92	2.70
CaO	19.79	30.05	8.40	2.62	19.27
Na ₂ O	0.61	0.68	0.64	0.69	0.73
K ₂ O	3.13	2.62	3.34	3.42	2.77
P ₂ O ₅	0.53	0.54	3.02	0.27	0.69
Сумма	97.60	96.91	100.57	100.33	96.45
А ^а 1000	58.78	69.54	55.18	61.60	?
Mo	0.37	0.59	0.19	0.11	0.37
Mc	2.08	1.69	1.29	2.14	1.87

Специальные исследования показали, что количество свободной СаО в свежей натуральной золе, определенное прямым титрованием 0.1 N HCl по фенолфталеину, изменяется в пределах от 8 до 11 %. Однако всю свободную известь таким способом определить не удастся, так как часть ее находится внутри ошлакованных зерен, стекловидная оболочка которых препятствует контакту извести с кислотой. Количество законсервированной таким образом извести, определенное по разности результатов титрования золы в естественном состоянии и после ее измельчения в агатовой ступке до удельной поверхности 7000 см²/г, достигает 1.5–2 % [42, с. 51].

Основным компонентом золы является ее расплавленная часть — шлаковое стекло⁴. «Сочетание алюминатного шлакового стекла, переменного количества свободной извести и ангидрита позволяют рассматривать сланцевую золу как естественное сульфатно-шлаковое вяжущее» [42, с. 53]. Химизм процессов гидратации золы эксперимен-

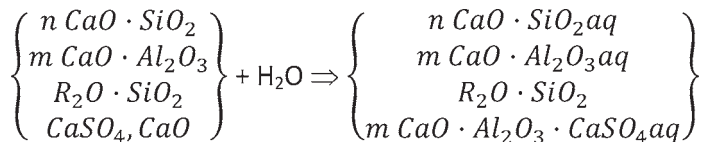
⁴ Состав шлакового стекла определен расчетным путем по составу золы и составу солянокислой вытяжки; его доля в различных видах сланцевой золы на ТЭЦ (экономайзерной, мультициклонной, электрофильтовой) составляет от 72 до 93 % [42, с. 52].

тально изучался А. А. Новопашиным и рисуется им следующим образом [42, с. 54]:

«При затворении золы водой в раствор переходит около 80 мг экв/л Ca^{2+} , 24 мг экв/л R^+ , 52 мг экв/л OH^- и 52 мг экв/л SO_4^{2-} , то есть очень быстро создаются насыщенный раствор гипса и щелочная среда, соответствующая $\text{pH} = 13.45$. В дальнейшем в результате гидролиза шлакового стекла раствор все больше обогащается ионами щелочных металлов, подавляющих растворимость ионов кальция, и по истечении 5 суток последние практически исчезают.

Таким образом, в золе имеются все условия для быстрого гидролиза шлакового стекла: свободная CaO и легко мигрирующие в раствор ионы K^+ обеспечивают создание высокой концентрации ионов OH^- , разрушающих кремнекислородный каркас стекла, а гипс, связывая гелевидный гидроалюминат в кристаллический гидросульфоалюминат кальция, разрыхляет гелевую оболочку на поверхности зерна и тем самым способствует проникновению гидроксильных ионов к поверхности гидратируемого зерна <... >».

Схема этих процессов дана ниже:



При этом некоторая часть компонентов (кварц, полевые шпаты) практически не изменяется, а другие изменяются медленно: железистое стекло и остатки нерасплавленных глинистых минералов. *«В результате этого из сланцевой золы получается цементный камень, каркасом которого являются негидратированные зерна и небольшое количество кристаллов гидроалюмината кальция переменного состава, окруженные массой медленно кристаллизующегося геля низкоосновных гидросиликатов кальция и продуктов гидролиза малоактивных составляющих»* [42, с. 54–55].

Эти соображения находят прямое подтверждение в эксперименте: *«При кипячении смеси золы с известью в воде в течение 144 часов зола присоединяет к себе 518 мг $\text{CaO}/\text{г}$, и это количество CaO можно считать предельным. Стехиометрические расчеты показывают, что в этом случае SiO_2 почти целиком превращается в гидросиликат CSH , а Al_2O_3 — в гидроалюминат C_3Alaq »* [42, с. 56]. При этом чрезвычайно важно, что утилизируется вся сера, присутствующая в золе: *«Наличие в*

формирующемся известково-зольном цементном камне гидроалюминатов кальция обеспечивает полное связывание в гидро-сульфоалюминате кальция всего количества SO_4^{2-} , содержащегося в золе. Опытами <...> установлено, что зола с добавкой 20 % извести может присоединить до 23 % гипса, вводимого извне. Таким образом, если обеспечить в золе содержание свободной CaO в количестве, достаточном для образования высокоосновных гидроалюминатов, то можно быть уверенным, что в цементном камне не остается свободных сульфатов, представляющих опасность для арматуры и образующих выцветы на поверхности изделий» [42, с. 57].

Зола в своем естественном виде, получаемая с ТЭЦ, представляет собою далеко не стандартное вяжущее — она обладает целым рядом неудобных свойств. Во-первых, она лишена самых мелких фракций и получаемое из нее цементное тесто слишком густое; во-вторых, несмотря на высокую дисперсность, казалось бы, близкую к таковой поргланцементов ($2500\text{--}3000\text{ см}^2/\text{г}$) и наличие в ней гидравлически активных компонентов, ее вяжущие свойства в естественном состоянии невелики; в-третьих, при термовлажностном твердении объем цементного камня из золы увеличивается на $10\text{--}15\%$, так что пропариваемые изделия выпучиваются из форм, а при термообработке на поддонах покрываются крупными трещинами; в-четвертых, зольный цемент не выдерживает испытания на равномерность изменения объема. Суть всех этих сложных процессов состоит в противоборстве двух тенденций: деструктивной (кристаллизация $Ca(OH)_2$, сопровождающаяся увеличением объема системы и создающая внутренние напряжения) и структурообразующей (гидратация активных составляющих золы, определяющая появление гелевидных новообразований, склеивающих между собой остатки минеральных зерен).

Поэтому, как показали исследования, зола ТЭЦ для применения ее в качестве вяжущего должна проходить измельчение до крупности $7000\text{ см}^2/\text{г}$, и вместе с тем (хотя это выглядит на первый взгляд парадоксальным) — гашение свободной CaO путем вылежки золы в течение трех суток перед применением в дело. Суть этих мероприятий в следующем: «размол золы позволяет получить высокоактивное вяжущее, так как активность его определяется тем, что при измельчении золы создаются не только благоприятные условия для своевременной гидратации части свободной извести, но и новые гидравлически активные поверхности зерен. Вместе с тем гидратация извести в свежеразмолотой золе, вызывая объемные деформации, способна значительно снизить активность вяжущего и уменьшить долговечность изготавливаемых на основе золы изделий» [42, с. 60]. Таким образом, дело сводится к такому подбору технологического процесса, чтобы «устранялось бы вредное действие гашения извести и

не терялась активность ее как вяжущего, то есть в борьбе разрушающих и структурообразующих процессов в цементном камне <... > последние с самого начала формирования цементного камня были преобладающими» [42, с. 63–64].

Использование в промышленности строительных материалов и в цементной промышленности вяжущих свойств сланцевой золы отличается большим разнообразием. Можно выделить следующие основные применения:

- 1) использование золы сланцев как вяжущего, в естественном виде или после помола, без каких-либо добавок;
- 2) использование золы (или шлака) в качестве сырьевого компонента при изготовлении цементного клинкера (*золопортландцемента*);
- 3) получение золопортландцементов путем добавок золы к готовому цементному клинкеру;
- 4) получение *известково-зольных цементов* путем смешения золы с известью в разных пропорциях;
- 5) использование золы как вяжущего (и частично — как наполнителя) в производстве *легких и ячеистых бетонов*;
- 6) использование золы в качестве добавки к гипсу;
- 7) производство *силикатного кирпича*.

5.1.1. Непосредственное использование золы в строительных растворах и бетонах

Без всякой дополнительной обработки зола эстонских сланцев в смеси с песком 1:3 дает вяжущее с сопротивлением на растяжение (в возрасте 28 дней) 12–22 кг/см², на сжатие — 90–150 кг/см². Эти показатели гораздо выше, чем у обычной извести и приближаются к показателям портланд-цемента. По данным М. Марфина [37, с. 10], в Эстонии ежегодно выпускается 35 тыс. т перемолотой золы — под названием бесклинкерного цемента «кукермита». К сожалению, строительные растворы на кукермите медленно твердеют и в чистом виде могут применяться лишь в теплое время года.

Введение дисперсных зол непосредственно в растворы и бетоны дает экономии дорогого портландцемента и повышает пластичность и плотность смесей. Золы вводят прямо в смесительные устройства, в среднем 200–300 кг золы на 1 м³ раствора или бетона. Требования к таким золам те же, что и к золам для легких бетонов. Дополнительно нормируется дисперсность (остаток на сите 0.2 не более 5 % и равномерность изменения объема вяжущего, изготовленного на золопортландцементе — ГОСТ 370-41).

Вследствие пониженной водоудерживающей способности зол поволжских сланцев, в растворы необходимо вводить пластифицирующие добавки — лучше всего известь или известковое тесто. Строительные растворы такого

типа обладают достаточно высокой прочностью — их можно использовать для большинства ограждающих конструкций, то есть как раз в тех частях сооружений, где расходуется основная масса растворов. Например, при расходе на 1 м^3 песка 333 кг золы поволжских сланцев и 167 кг извести, после 365 суток твердения в воздушно-влажной среде раствор имел прочность 102 кг/см^2 , а при 30-часовой пропарке — 80 кг/см^2 . *«Неоднократные испытания на морозостойкость показали, что эти растворы могут быть использованы для кладки жилых и общественных зданий»* [42, 1973, с. 95].

Все же зола поволжских сланцев в естественном состоянии имеет существенные недостатки: в гранулах шлака законсервированы многие частицы СаО, которые могли бы значительно повысить ее активность, а кроме того, в составе золы могут присутствовать зерна дегидратированной глины, сохраняющие сланцеватую структуру и снижающие морозостойкость цементного камня. Опыты показали, что наиболее эффективным способом получения высококачественного вяжущего является предварительная пропарка золы (от 4 до 6 часов) с последующим домолом. При такой обработке получается вяжущее с равномерным изменением объема, при величине удельной поверхности $6500 \text{ см}^2/\text{г}$ и достаточно высокой активности. Использование в качестве вяжущего молотой золы обеспечивает получение растворов любой заданной прочности, до 100 кг/см^2 , причем все они обладают морозостойкостью, достаточной для кладочных растворов. **Считают, что известково-зольные растворы по своим свойствам ничем не уступают цементно-известковым** [42, с. 101–103].

Весьма интересен накопленный в Поволжье опыт изготовления сланцевозольных «литых блоков». Это — простейший способ использования сланцевой золы в строительстве, так как он не требует предварительной ее обработки и сложного оборудования. При добавке к золе 50 % воды получается масса, достаточно текучая для того, чтобы ею можно было заполнить формы. После суточной термовлажностной обработки в пропарочных камерах при температуре $90\text{--}95^\circ\text{C}$ эта масса затвердевает и превращается в камень с прочностью более 100 кг/см^2 и объемным весом $1250\text{--}1350 \text{ кг/м}^3$. Добавка к золе извести до общего содержания свободной СаО в смеси 11 % позволяет сократить продолжительность пропарки до 12 часов, обеспечивая получение той же прочности. Можно вместо извести добавлять к золе молотую золу (30 %) с получением того же эффекта. При этом за счет улучшения гранулометрического состава золы объемный вес блоков увеличивается до 1550 кг/м^3 и соответственно уменьшается водопоглощаемость. Правда, получающийся сланцевозольный в камень не морозостоек — его нельзя применять в наружных ограждающих конструкциях.

Однако морозостойкость камня можно сильно увеличить путем запарки в автоклаве. Даже камни из обычной золы приобретают прочность кирпича марки «75» и морозостойкость не ниже 10 циклов. Добавки же молотой золы в разумных пределах обеспечивают получение камня с прочностью до 200 кг/см^2 и с морозостойкостью не ниже 15 циклов, — то есть материала, годного для наружных стен [42, с. 90–91].

Эти научные рекомендации прошли успешную проверку на Кашпирском заводе сланцезольного кирпича. Стандартные стеновые камни с размерами $190 \times 190 \times 380$ мм отливались в кассетных формах, установленных на запарочные вагонетки. В качестве добавок, увеличивающих прочность литых блоков, использовалась молотая зола Сызранской ТЭЦ и известь-пушонка.

У сланцезольных литых камней есть еще один недостаток — высокая водопоглощаемость, вызванная их высокой пористостью. Но и его можно свести к нулю покраской блоков жидким стеклом или раз в семь уменьшить — покраской известковым молоком.

5.1.2. Использование зол и шлаков в качестве сырьевого компонента цемента

Как указывают Л. Я. Гольдштейн и Н. П. Штейерт [21] применение топливных зол и шлаков как компонентов сырьевой смеси может дать цементным заводам следующие преимущества:

1) при благоприятном химическом составе золошлаковых материалов введение их в шихту улучшает условия её обжига, химико-минералогический состав клинкера, а, следовательно, и качество цемента;

2) использование высококарбонатных зол (таких, как зола прибалтийских сланцев) позволяет существенно уменьшить содержание карбонатного компонента в сырьевой смеси и тем самым увеличить выход клинкера и снизить удельный расход топлива на его обжиг;

3) применение пылевидных зол снижает расход электроэнергии, ибо они часто вообще не требуют дополнительного помола;

4) если используются кислые золы и шлаки при мокром способе производства цемента, то должно происходить снижение влажности сырьевого шлама, ибо водопотребность золы гораздо меньше, чем водопотребность глины;

5) если используются золы с высокой величиной ППП (а таковы пока ещё все золы, производимые на старых ТЭС), то это сильно экономит расход топлива на обжиг сырьевой смеси, о чем свидетельствует опыт Ангарского и Тимлойского цементных заводов.

В 1975 г. в Коми республике было произведено 371.5 тыс. т цемента [34, с. 76]. При производстве около 1 млн. т цемента можно использовать не менее 150 тыс. тонн золы или шлаков. Получаемый продукт не изменяет

своего наименования портланд-цемента, имеет марки 500–600 и отвечает ГОСТу 970-41⁵.

На Воркутинском цементном заводе Институтом Гипроцемент были проведены успешные опытно-промышленные работы по использованию золы с отвала ТЭЦ-2 (сжигающей воркутинские угли) вместо глинистого сланца, обычно применяемого заводом [21, с. 133–134]. Отвальная зола, имеющая влажность около 30 %, вводилась в шлам в количестве 12–13 % путем размола в сырьевой мельнице вместе с известняком. Производительность печей повысилась на 3.5 %, а полученный клинкер по качеству не уступал обычному клинкеру этого завода. По данным предварительных расчетов предполагалось, что при постоянном использовании золы ТЭЦ-2 годовой экономический эффект мог превысить 200 тыс. руб.

Для нас этот опыт весьма важен: если удалось успешно использовать кислую золу воркутинских углей, содержащую всего 2.64 % CaO, то эффект применения сланцевой золы обещает быть более значительным, даже с учетом затрат на её перевозку; но выгоднее, разумеется, размещать цементные заводы в непосредственной близости от ТЭС, работающих на сланцах. Согласно экспериментальным данным Е. Ф. Жарова [25], отличные результаты получаются, если при совместном помолу клинкера и золы добавлять в состав смеси небольшие количества поверхностно-активных веществ (ПАВ): сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ), нейтрализованной воздухововлекающей смолы (СНВ), гидрофобной кремнийорганической жидкости (ГКЖ-11). Например, прочность золоцемента с содержанием 40 % золы в возрасте 28 суток составила, при введении 0.01 % СНВ 120 % к прочности золоцемента без ПАВ, а та же доза ГКЖ дала прочность 130 %. Для нас особенно важен эффект СНВ, ибо, как известно, введение в цемент воздуха — надежное средство повышения морозостойкости бетона.

Исключительно перспективно, по мнению специалистов [21] использование *сланцевых шлаков*, которое станет возможным при широком внедрении в производство агрегатов с жидким шлакоудалением. Дело в том, что по сравнению с давно используемыми цементниками *доменными шлаками*, эстонский топливный сланцевый шлак не только имеет высокое содержание CaO (45–55 %), но и оптимальное соотношение других кислотных окислов SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃. Напротив, доменные шлаки почти не содержат железа, бедны кремнеземом и глиноземом, что вынуждает вводить в цементную шихту с применением доменных шлаков — *корректирующие добавки*. Исполь-

⁵«Отходы ТЭС золошлаковые для производства цемента», утвержденные в 1971 г. Госстроем СССР, Министерством промстройматериалов СССР и Минэнерго СССР.

зование эстонского сланцевого шлака сделало возможным составление цементной шихты всего из двух компонентов (без корректирующих добавок) — известняка 46.4 % и сланцевого шлака — 53.6 %. Расчеты показали, что при использовании сланцевого шлака (по сравнению с сырьевой шихтой на глине) на 1 тонну клинкера снижается расход известняка примерно на 40 %, и, следовательно, снижается удельный расход тепла на обжиг сырьевой смеси; выход клинкера на 1 т сырья увеличивается примерно на 15–20 %, то есть заметно увеличивается производительность печи.

5.1.3. Получение золопортландцементов

Высокая стоимость цементного клинкера диктует необходимость его экономии. Накоплен значительный опыт замены части дорогого клинкера золой или шлаком; для этих целей наиболее пригодны именно золы горючих сланцев, так как они обычно значительно богаче СаО по сравнению с каменноугольными; от химического состава золы зависит та ее доля, которую можно ввести в цементную смесь, не снижая качество цемента. Так, на Сухоложском цементном заводе ещё в 1947–48 гг. были выпущены десятки тысяч тонн портланд-цемента марок 400 и 500 с добавкой 10 % котельных угольных шлаков. Ангарским цементным заводом с 1965 г. используется сухая зола-унос Иркутской ТЭС-1, уловленная электрофильтрами. Как показали опыты, наилучшими свойствами обладал цемент, полученный при совместном помолу золы, клинкера и гипса [21]. Однако надо подчеркнуть, что никаких общих рецептов здесь нет; например, в ряде работ указывается, что совместный помол золы и клинкера невыгоден, так как размальзываемость того и другого материала разная. В таких работах рекомендуют добавлять молотую золу к готовому цементу и тщательно перемешивать.

Сланцевая зола, богатая СаО, может вводиться в цементы в количествах, достигающих 30–40 %. На эстонском цементном заводе «Пунане Кунда» в 1977 г. потреблялось около 10 тыс. т сланцевой золы Прибалтийской ГРЭС для производства сланцево-зольного цемента, который охотно брали строители. Из бетона с цементом, содержащего сланцевую золу с добавкой только 30 % портландцементного клинкера, изготовлен, в частности, 190-метровый ствол новой Таллинской телебашни [37]. В Ленинградской области 1 т цемента, содержащего сланцевую золу, обходится на 1–1.5 руб. дешевле цемента, получаемого из традиционного сырья [31, с. 180]. По данным В. Р. Клера [31, с. 181], во Франции производят около 30 млн. т цемента с добавками золы, что дало уменьшение затрат примерно на 30 %. Такое удешевление цемента способствовало широкому его применению в строительстве дорог, набережных и взлетно-посадочных полос. Есть сведения, что и в ФРГ разработана технология производства сланцево-зольного

портландцемента прочностью около 480 кг/см^2 , с содержанием около 30 % золы [21].

Применение сланцезольного портландцемента оказалось высокоэффективным в сборном железобетоне. По данным П. Р. Вейгеля [13], в настоящее время в Эстонской ССР все сборные железобетонные конструкции марок 300 и выше изготавливаются на сланцезольном портландцементе. Таковы, например, балки длиной 12 м и 18 м, фермы пролетом 24 м, подкрановые балки длиной 12 м и т. д. Очень важно, что **сланцезольный портландцемент повышает морозостойкость бетона**: бетон выдерживает более 200 циклов замораживания. Применение такого цемента на заводах ЖБИ позволило сократить расход дорогого портландцемента, уменьшить расход пара при термообработке, увеличить оборачиваемость парка форм.

Ю. В. Сухов [51], специально изучал экономику применения сланцезольного цемента. Его данные особенно интересны для нас, так как касаются золы сызранских горючих сланцев, гораздо более схожих с нашими, чем эстонские. Себестоимость 1 т цемента при 100 % клинкера составляет 15 руб. 90 коп. (данные относятся к опытно-помольной установке в г. Сызрани; клинкер Жигулевского завода). Активность такого цемента составляет 430 и 330 кг/см^2 при естественном твердении и пропаривании соответственно. Если же содержание клинкера в цемента снижено до 60 % добавкой золы, то соответствующие цифры равны 12 руб. 60 коп, 380 и 410 кг/см^2 . Как видим, при гидротермальном твердении (к тому же, как известно, оно протекает быстрее) сланцезольного цемента достигается заметно более высокая активность, при обычном — несколько более низкая, чем у чистого портландцемента. Но удельная себестоимость единицы активности в обоих случаях ниже:

	Естественное твердение	Пропаривание
100 % клинкера	37 коп.	48 коп.
60 % клинкера	31 коп.	30 коп.

Естественно, что в итоге достигается значительная экономия; расчеты Ю. В. Сухова показывают, что при переработке в вяжущие каждая тонна золы может дать экономический эффект (руб):

в строительных растворах	6.0
в товарных бетонах	7.4
в неармированных бетонных изделиях	9.5
в сборном железобетоне	9.1
в керамзитобетоне	8.7

В среднем — около 8 руб.

Утилизация всего количества золы Сызранской ТЭЦ обещала экономии не менее 3 млн. руб в год. Автор пишет [51, с. 115–116]: «... утилизация золы СТЭЦ, помимо обеспечения строительства сравнительно дешевым, а промышленность сборного железобетона и весьма эффективным цементом, позволит решить ряд важных народно-хозяйственных задач: 1) сохранить значительное количество портландцементного клинкера; 2) избавить Среднее Поволжье от необходимости завозить доменные шлаки; 3) решить проблему золоудаления на Сызранской ТЭЦ и за счет этого снизить себестоимость электроэнергии и тепла; 4) повысить рентабельность сланцедобывающей промышленности в целом и за счет этого расширить топливную базу страны».

Может показаться, что препятствием к широкому использованию золопортландцемента на золе поволжских сланцев будет высокое содержание в золе SO_3^{2-} — намного большее, чем допускается ГОСТ 6269-54. Однако, как оказалось, сульфаты, содержащиеся в золе, обладают высокой химической активностью и вступают в реакцию с алюминатами кальция, т.е. «ведут себя так же, как гипс, добавляемый для регулирования сроков схватывания» [42, с. 63]. Более того, эффективность золы как регулятора скорости схватывания цемента — значительно выше, чем у гипса. Причина этого состоит в том, что зола отдает в раствор гораздо больше ионов SO_4^{2-} , ибо большая часть сульфат-иона находится в ней в составе легко растворимого K_2SO_4 . «При обычной же добавке гипса его и так невысокая растворимость (2.05 г/л) подавляется присутствием $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Потому реакция образования гидросульфалюмината, определяющая стойкость в золе гидросиликатов кальция и замедление схватывания цементного теста, протекает с меньшей скоростью, и эффект регулирующего действия снижается» [42, с. 68].

Эффективность золопортландцементов определяется также тем, что цементный камень из таких смесей не корродирует металлическую арматуру, тогда как чистый зольный цемент обладает очень мощным коррозионным действием и хотя бы поэтому не годится для железобетонных конструкций. Хорошими показателями обладают золопортландцементы и по такому показателю, как сцепляемость с арматурой.

5.1.4. Получение известково-зольных цементов

Золы и шлаки могут также широко использоваться для производства известково-зольных цементов. Эти продукты состоят на 10–25 % из негашеной извести CaO , на 2–5 % — из гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и на 70–80 % — из золы или шлака. Готовят их совместным помолом компонентов в шаровых и др. мельницах до остатка 5–10 % на сите 0.085. Полученный продукт явля-

ется *бесклинкерным цементом*. Для повышения прочности, воздухо- и морозостойкости в состав смеси целесообразно вводить до 25–30 % портландцемента, и соответственно уменьшать количество золы. Такой продукт называется *малоклинкерным цементом*, с марками 25, 50, 100 и выше. Известно, что бесклинкерные цементы, твердеющие при температурах 5–20 °С, имеют относительно низкие прочностные показатели (растворы марок 10–50 и бетоны марок 25–50). Однако термообработка в камерах при 90–100°, и в особенности в автоклавах при 175–200° (и давлениях пара 8–15 атм.) сильно повышает их прочность, так что они годятся для изготовления легких и тяжелых бетонов марок 100–200.

5.1.5. Использование золы в производстве бетонов

Опыт многолетних работ б. Куйбышевского СНХ показал, что молотая зола и ее смеси с портландцементами различных составов и марок с успехом применялись для приготовления обычных бетонов. Так, на заводе тяжелого машиностроения в г. Сызрани из бетона марки «200» на золопортландцементе (80 % молотой золы и 20 % портландцемента марки «400») были изготовлены фундаменты под тяжелые прессы. Весьма интересны и важны соображения А. А. Новопашина об оценке эффективности применения сланцезольных вяжущих в бетонах. Если за показатель эффективности принять прочность бетона в кг/см², приходящуюся на 1 кг вяжущего в 1 м³ бетона, то этот показатель будет расти при добавке к молотой золе любого количества портландцемента и до 20 % извести. Однако молотая зола примерно в два раза дешевле портландцемента; поэтому применение малоцементных и малоизвестковых вяжущих оказывается более выгодным. При этом весьма важно следующее: золопортланд-цемент, содержащий 30 % молотой золы, при пропарке обеспечивает получение 100 % прочности, приобретаемой бетоном на чистом портландцементе в естественных условиях, причем такой цемент сохраняет способность увеличивать прочность со временем. Такая особенность золопортландцементов весьма привлекательна для заводов сборного железобетона, обычно выпускающих изделия либо с 70 % прочностью, либо вынужденных перерасходовать цемент для обеспечения нужной прочности, если детали подлежат немедленному загрузению. По расчетам сотрудников «Саратовгэстроя», получавших золопортландцемент (1:1) марки «600», замена 70 % цемента золой позволила бы снизить стоимость гидротехнического бетона на Балаковской ГЭС на 1.5–2.0 руб/м³ [42, с. 104–105].

Если в литую сланцезольную массу с ее высокой механической прочностью ввести пористый наполнитель, то получают отличные *легкие бетоны*, из которых в г. Куйбышеве были в свое время построены целые жилые рай-

оны [42, с. 93]. Кроме того, сланцевая зола оказывается эффективной добавкой при изготовлении *керамзитобетонов*. Дело в том, что в керамзитобетонах необходима мелкая фракция-заполнитель, количество которой составляет 0.35–0.40 м³ на 1 м³ бетонной смеси. Использование дробленого керамзита сильно удорожает бетон, ибо для изготовления 1 м³ такого керамзитового песка необходимо 2.0–2.5 м³ керамзита. Поэтому многие заводы применяют обычный речной песок, что снижает качество изделий, так как утяжеляет их. Если же добавлять в керамзитобетоны сланцевую золу, то можно не только получить нужные характеристики по объемному весу и прочности, но достичь значительной экономии средств, так как *«наличие у золы свойств гидравлической добавки позволяет изготовить даже бесцементные керамзитобетоны с использованием в качестве вяжущего извести-пушонки»* [42, с. 94]. Например, при дозах (кг/м³ бетона) керамзита 486, пропаренной золы Сызранской ТЭЦ 190, извести-пушонки 75, получается керамзитобетон прочностью 15.5 кг/см² и объемным весом 900 кг/м³. Увеличение дозы золы до 385 кг/м³, извести до 165 кг/м³ даёт бетон более тяжелый (1250 кг/м³) и более прочный (98 кг/см²). Следует учесть, что обычный расход дорогого цементного клинкера на 1 м³ керамзитобетона составляет 220–250 кг.

В Швеции минеральная часть сланца является основой производства *газобетона* «Итонг», имеющего объемный вес 400–700 кг/м³ и прочность 15–60 кг/см² и широко применяемого для возведения ограждающих конструкций. По данным А. А. Новопашина [42, с. 108], в массовом количестве газобетоны с золой Сызранской ТЭЦ были использованы на строительстве НИИ атомных реакторов в г. Мелекесе, где в 1963–64 гг. было изготовлено и применено в дело 1500 м³ газозолобетона с объемным весом около 400 кг/м³ и прочностью 7–9 кг/см².

Из кукуермита можно изготовить *пенобетон* с прочностью до 100 кг/см² при объемном весе 900 кг/м³, пригодный для несущих стен жилых зданий. Неприятной особенностью таких бетонов является сорбция паров воды, чего можно не допустить, применяя гидрофобный кремнийорганический препарат ГКЖ-94, растворенный в керосине. При расходе его в 500 г/м³, водопоглощаемость кукуермитовых ячеистых бетонов снижается на 85–95 %, а морозостойкость повышается в 1.2–2.7 раза.

Лабораторные и производственные опыты доказали возможность изготовления из золы Сызранской ТЭЦ газобетонов с объемным весом от 400 до 1200 кг/м³ и с прочностью от 12 до 100 кг/см².

Свойства *ячеистых бетонов* из золы сланца сильно зависят от таких факторов, как качество помола золы (чем мельче, тем лучше), величины добавок извести и цемента (чем больше, тем бетон прочнее), условий твер-

дения (автоклавные бетоны намного прочнее пропаренных), способа создания ячеистой структуры (газобетон гораздо предпочтительнее пенобетона).

В ячеистых бетонах из чистой сланцевой золы арматура подвергается интенсивной коррозии; единственный, но вполне надежный способ защиты арматуры — сплошное битумное покрытие, получаемое погружением арматурных каркасов в расплавленный бигум марки 111. А. А. Новопашин формулирует следующие оптимальные условия получения ячеистых бетонов с использованием золы: 1 — приготовление газобетона на алюминиевой пудре; 2 — автоклавная обработка; 3 — добавка к молотой золе 30 % извести или 25 % портландцемента [42, с. 108]. Смесь золы и извести, с активностью по СаО 15–17 % размалывали в двухкамерной мельнице СМ-436 до уд. поверхности 4500–5000 см²/г, после чего добавляли алюминиевую пудру, воду и сульфонал. Смесь перемешивали в растворомешалке, разливали по формам, оставляли на вызревание на 1.5 часа и далее подвергали автоклавной обработке по режиму 1+6+1 при 8 атм.

5.1.6. Добавка золы к гипсовым деталям

Такое быстродействующее вяжущее как гипс находит весьма широкое применение в малоэтажном, особенно сельском, строительстве. До недавнего времени использование гипсовых отливок сдерживалось низкой водостойкостью гипса — его нельзя было применять в таких конструкциях зданий, которые в той или иной степени подвержены увлажнению. Этот недостаток устраняется добавкой к строительному гипсу гидравлических вяжущих веществ, среди которых отлично зарекомендовали себя золопортландцементы. Оказалось, что уже 15 %-ная добавка золопортландцемента (клинкер:зола = 1:4) придает гипсоцементному камню способность твердеть во влажной среде и при пропарке. Особенно ценно последнее, что позволяет *«несколько необычно вести процесс изготовления гипсовых строительных деталей, а именно: после формовки эти детали не сушить, а прогреть в герметически закрытой камере. После 12-часового прогрева такие детали будут иметь прочность, превышающую прочность сухих чисто гипсовых деталей, и будут вполне пригодны для транспортировки на строительную площадку»* [42, с.109].

5.1.7. Производство силикатного кирпича

В этом производстве зола сланцев может частично или полностью заменять более дорогую известь. По оценкам 15-летней давности, не менее 800.000 т извести по Союзу можно было заменить более дешевыми шлакозольными вяжущими [58].

По данным В. Р. Клера [31, с. 181], использование зол углей и сланцев на заводах силикатного кирпича в Московской и Ленинградской областях приводит к снижению его себестоимости на 4,8 руб. на 1000 штук кирпича, по сравнению со среднеотраслевой себестоимостью. Кроме того, у такого кирпича значительно выше прочность и морозостойкость. В ФРГ из каменноугольных зол получают прессованный кирпич, используя в качестве связующего известь или цемент. Широко используют золу в кирпичном производстве в Англии, США, Франции, Польше. Как отмечает А. А. Новопашин [42, с. 78] в течение почти 30 лет (1930—1960) в пос. Кашпир действовал завод, изготавливавший кирпич из шлака сланцеперегонного завода и золы ЦЭС.

5.2. Использование зол, шлаков и отходов сланцедобычи для производства заполнителей легких бетонов и асфальтобетонов

Это — огромная, и быть может, самая перспективная область применения минерального (и отчасти органического!) вещества горючих сланцев. Дело заключается в огромных масштабах производства легких бетонов для жилищного строительства, которое может поглотить чрезвычайно крупные объемы золы, шлака и отходов сланцедобычи. По расчетам И. А. Иванова [27] на производство 1 м³ легкого бетона с заполнителем из аглопорита или зольного гравия требуется 290 кг портландцемента и около 1 т золы. На самом деле потребность в золе может быть еще выше, если употребляется малоклинкерный или бесклинкерный цемент. Но и по этим заниженным оценкам на строительство 5-этажного 80-квартирного дома потребуется около 1500 т золы! Даже цементная промышленность с ее внушительными масштабами производства не может тягаться с таким мощным потребителем золошлаковых материалов, каким является индустрия легких бетонов на пористых заполнителях.

По способу использования сланцев в этой индустрии можно рассматривать два основных варианта:

- непосредственное введение золошлаковых заполнителей в бетон;
- использование сланцев для производства специальных заполнителей — зольного гравия и аглопорита.

5.2.1. Непосредственное использование золы или шлака

Золы и шлаки могут непосредственно использоваться как заполнители легких бетонов, особенно при термообработке последних паром в камерах (при обычном давлении) и в автоклавах (при давлении 8—12 атм. и более). В качестве вяжущих используют известь, портландцемент и их смеси. В условиях пропаривания (особенно автоклавного) золы и шлаки приобре-

тают свойства активного компонента бетона. На основе шлаков получают легкие бетоны для стеновых камней, плит, блоков и панелей, а при высоком качестве шлаков — даже для армированных изделий для перекрытий и покрытий зданий. На основе зол получают так называемые *золобетоны* объемным весом 1000–1800 кг/м³ при прочности на сжатие 75–300 кг/см². Существенный недостаток золобетонов — значительные усадочные деформации при высыхании (до 2–3 мм/м; для устранения их рекомендуют вводить в состав золобетонов до 30–50 % крупных легких заполнителей (например, того же шлака!) или же кварцевого песка. Автоклавная обработка золобетонов снижает усадочные деформации в 2–3 раза и одновременно повышает их морозо- и воздухостойкость. **Вообще же, удобство золобетонов в том, что их свойства легко регулируются соответствующей дозировкой количеств крупных заполнителей и песка.** Особо легкие — *ячеистые* — разновидности золобетонов получают путем термообработки в камерах и автоклавах. Они имеют объемный вес всего 400–800 кг/м³ при прочности на сжатие от 10–20 до 50–80 кг/см². Такие бетоны применяют при изготовлении теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструктивных изделий в жилищном, промышленном и сельскохозяйственном строительстве. Основные требования к золам для производства легких и ячеистых бетонов следующие:

недожог, %	не более 5
MgO, %	не более 5
SO ₃	не более 5
S _{сульфид}	не более 1

Как видим, единственными серьезными ограничителями являются повышенная магнезиальность и сернистость золы. Для Сысольских сланцев эти требования, в общем, выполняются, для Айювинских препятствием может оказаться повышенная сернистость, если содержание серы не будет снижено при обогащении сланцев.

Производство золобетонных изделий налажено на заводах в Ленинграде, Горьком, Свердловске и некоторых др. городах. Существенно, что имеются типовые проекты таких предприятий, а их основное оборудование (помольное, смесительное, формующее, автоклавное и др.) выпускается серийно. Очень важно при этом учесть эстонский опыт. Для нормальной работы любого крупного предприятия необходимо поддержание качества сырья в довольно жестких пределах; состав же сланцевой золы неизбежно колеблется и поэтому требует предварительного усреднения. Оказывается, **экономически целесообразно усреднять золу непосредственно на электростанции**, перед отправкой ее потребителю [37, с. 10].

При изготовлении *асфальтобетонов* используют любую горную породу, размолотую в шаровых мельницах до требуемой тонины. Операция помола, конечно, удорожает производство, поэтому использование дисперсной золы сулит несомненную выгоду. При этом зола улучшает качество асфальтобетона — снижает водонасыщение и повышает прочность. Для этой цели годится мелкая зола-унос. По ориентировочным оценкам, на 1 т асфальтобетона требуется около 150 кг золы-уноса. Опыт использования зольных уносов накоплен в г. Ангарске, где они применяются на асфальтобетонном заводе с 1957 г.

По данным В. Р. Клера [31, с. 185] в настоящее время *каменноугольные золы* применяются в производстве асфальтобетона в г. Ангрене и в Свердловской области. Заметим, что эти золы (уносы) не должны содержать свободной СаО, так что для этих целей могла бы использоваться зола только малокарбонатных сланцев.

5.2.2. Производство аглопорита и зольного гравия

Для этих целей годятся золы со значительным недожогом органического вещества, составляющим 8–12 %. Аглопорит (материал с объемным весом в куске 800–1500 кг/м³) применяют в цементных бетонах марок 50–100, при объемном весе 1000–1500 кг/м³. Напротив, для производства зольного гравия нужна хорошо обожженная зола, с недожогом, не превышающим 10 %; в ней должно быть не менее 10 % окислов Fe, и не более 5 % СаО+MgO. Следовательно, для этих целей не годятся карбонатные сланцы, а подойдут лишь такие, зола которых отвечает малокарбонатной глине. Зольный гравий может применяться в бетонах марок 50–200, при объемном весе 800–1600 кг/м³. По имеющимся у нас данным (15-летней давности) заводы зольного гравия строились в Тамбове и Барнауле, производительностью 75 и 25 тыс. м³/год.

Исключительный интерес представляют данные о получении аглопорита на базе поволжских сланцев, наиболее близких к нашим. Исходное сырье могло бы получаться двумя способами: либо как продукт обогащения сланца (то есть «хвосты», обедненные керогеном), либо, наоборот, как продукт совместной добычи сланца с сопровождающей его породой, без всякого обогащения. Последнее особенно привлекательно, так как большинство месторождений горючих сланцев представляют собою многопластовые залежи, с несколькими, но маломощными прослоями сланца, разделенными прослоями пустой глинистой породы. На наших месторождениях последняя нередко представляет собою так называемую «керогенсодержащую глину», то есть глину, содержащую до 10–15 % органического вещества.

Полупромышленные опыты ученых Куйбышевского инженерно-строительного института производились с шихтами, составленными из кондиционных сызранских сланцев, которые добавлялись перед агломерацией к тому

или иному количеству глинистых пород из почвы и кровли пласта горючего сланца. Было установлено, что нормально спекшийся аглопорит получается в том случае, когда содержание сланца в шихте составляет 30–33 %. При меньшем содержании смесь недостаточно спекается, а при большем – развивается слишком высокая температура, приводящая к частичному плавлению смеси. При этом на Кашпирском месторождении испытывались две пачки околосланцевых глин: нижняя и верхняя. Оказалось, что из нижней пачки получается высокопористый продукт типа керамзита с очень малым объемным весом в куске до 1300 кг/м³ или 650–700 кг/м³ насыпью. *«Смесь этих глин в соотношении 1:1 с добавкой 30 % сланца позволяет изготовить аглопорит высокого качества с объемным весом 450–500 кг/м³ и не вызывает затруднений в процессе горения <...>. При агломерации пустых пород улавливание легких фракций органической части сланца и пустых пород возможно и необходимо. Необходимо по двум причинам: во-первых, потому, что газ, выделяющийся при агломерации, аналогичен газу, получающемуся в газогенераторах сланцеперегонного завода и может быть использован для получения ценных химических продуктов; во-вторых, потому, что этот газ обладает резким, неприятным запахом и загрязнение им атмосферы не может быть допущено санитарными правилами»* [42, с. 75].

Качество аглопорита, полученного в чашах производственного размера, было проверено испытанием в бетонах. Из аглопорита трех размерных фракций и золопортландцемента с активностью 300 кг/см² (50 % портландцемента и 50 % молотой золы Сызранской ТЭЦ) удалось получить серию легких бетонов с объемным весом от 1300 до 1500 кг/м³ и прочностью от 40.0 до 140.0 кг/см². Эти бетоны аналогичны нормальным аглопоритобетонам, изготавливаемым в Белоруссии и Караганде. Как утверждает А. А. Новопашин, *«агломерация шахтных пород и обеспечение сланцеперегонных заводов органическими веществами за счет улавливания их из отходящих газов должны изменить способ добычи сланца»*⁶. По мере накопления опыта утилизации летучих продуктов из шахты может выдаваться готовая шихта, получаемая одновременной разработкой двух слоев пустой породы и залегающего между ними слоя сланца с помощью врубовых машин» [42, с. 112].

Считая производство аглопорита важнейшим потребителем пород сланценосного разреза (и в значительной мере и самого сланца!) А. А. Новопашин предлагает вообще радикально пересмотреть существующие технологические схемы добычи и переработки поволжских сланцев:

⁶ Выделено мной – Я. Ю.

«Переработка шахтных пород в аглопорит создает возможность частичного использования содержащихся в них органических веществ для получения ценных лекарственных и технических продуктов, так как при агломерации сланцевых пород летучие вещества удаляются вместе с отходящими газами. Необходимость улавливания этих летучих органических веществ во избежание отравления атмосферы создает условия для кооперирования или объединения аглопоритовых и сланцеперегонных заводов и изменения технологий перегонки сланца, так как в этом случае газогенераторы и реторты могут быть исключены из технологического процесса».

5.2.3. Производство каменного литья и минеральной ваты

Хотя мы не располагаем данными о применении именно сланцевых зол, для ориентировки в проблеме вполне можно опереться на результаты, полученные на материале каменноугольных зол и шлаков. Особый интерес представляют опытно-промышленные работы Института горючих ископаемых, НИИстекла, Института стали и сплавов, по конверторной плавке зол и шлаков, при которой получали каменное литье и шлаковату [58, с. 116—137].

На Тульском опытном заводе НИИстекла в 1960-х гг. проводили опыты плавления зол и шлаков в конверторе, специально сконструированном для плавки неметаллических материалов. Конвертор представляет собою плавильную печь с погруженным в расплав факелом. В качестве топлива может быть использован мазут, газ или угольная пыль. Топливо-воздушная смесь продувается в расплав через специальные фурмы-форсунки. Процессы идут очень интенсивно, при этом не нужно огнеупорной футеровки, которую заменяет слой застывающего у стенок расплава («гарнисаж»). После отгонки ценных летучих возгонов (Ge, Ga, Re, Mo, Zn, Pb) остаётся жидкий расплав, состав которого при необходимости может корректироваться добавками известняка или песка. Из расплава без дополнительных затрат получают путем распыления высококачественную *шлаковату*, полностью отвечающую технологическим условиям. Причина высокого качества продукта — хорошее усреднение расплава в конверторе.

Другие важные продукты конверторной плавки — *изделия из каменного литья*. Они превосходят базальтовые по механическим свойствам (прочность на сжатие 5000 и 2500 кг/см², на изгиб — 650—700 и 470 кг/см² соответственно) и практически не уступают базальтовым в кислотостойкости: в H₂SO₄ 98—91 и 99.8 %, в HCl 99.4 и 99.3 % соответственно. Из расплава был получен широкий ассортимент изделий: плитки размером 360×240×25 мм и 180×115×18 мм; плиты с отверстиями для футеровки химической аппаратуры (360×240×30 мм); плиты гладкие и рифленые для полов (250×180×30 мм); тру-

бы, желоба, днища и боковины желобов для гидрозолоудаления; кубики для футеровки шаровых мельниц; конус для гидроциклона (для процессов обогащения и классификации минерального сырья); лопасть мешалки, армированная стальным прутком (для реактора, используемого в производстве суперфосфата). Нет необходимости доказывать, что буквально все из вышеперечисленных изделий нужны (а нередко и остродефицитны) для существующих и проектируемых предприятий ТПК. Достаточно сказать, что каждая тонна беспористой плитки для футеровки, применяемой в защитных покрытиях химических реакторов, плавильных и электролитных ваннах и т. д. — экономит 1–2 т металла; каждая тонна гладких и рифленых плит, применяемых в горнообогащении, химии и металлургии, сохраняет 4–7 т металла; каждая тонна труб из каменного литья экономит 5–8 т металла; камнелитые изделия для мешалок реакторов экономят дефицитные специальные стали и пр.

5.3. Использование золы сланцев в качестве удобрения

Зола горючих сланцев содержит целый ряд минеральных веществ, необходимых растениям (калий, кальций, фосфор, микроэлементы), и что очень важно — находящихся в растворимых соединениях, доступных для усвоения их растениями. В этом отношении зола выгодно отличается от исходной минеральной части сланца. Ниже мы рассмотрим только два наиболее перспективных способа агрономического применения сланцевой золы.

5.3.1. Известкование кислых почв

Известно, что большая часть почв в Коми АССР принадлежат к подзолистым и характеризуются аномально высокой кислотностью. По опубликованным данным [40] к сильнокислым ($\text{pH} < 4.5$) относится 59.9 % площади пахотных почв, к среднекислым ($\text{pH} 4.6–5.0$) — 19.9 %, к слабокислым ($\text{pH} 5.1–5.5$) — 11.2 %. Всего 9.7 % наших пахотных почв отнесены к нейтральным или близким к таковым ($\text{pH} 5.6–6.0$ и выше). Кроме того, у нас имеется обширная площадь и луговых почв с аномальной кислотностью. Таким образом, подавляющее количество наших почв — кислые. По мере продвижения к северу кислотность почв возрастает, а содержание в них гумуса снижается. Поэтому почвы северной природной зоны (бассейн Печоры) нуждаются в известковании больше, чем центральной (бассейн Вычегды) и тем более южной (бассейн Сысолы и Лузы) [48]. Проблеме кислотности почв посвящена обширная литература, а известкование принадлежит чуть ли не к самым древним агротехническим приемам, изобретенным человечеством. В настоящее время в основных чертах расшифровали процессы, благодаря которым известкование оказывает мощное положительное действие на плодородие почв. В числе их: подавление вредного влияния избытка подвижных

форм Al, Fe, Mn; введение в почву Ca и Mg, необходимых растению в процессах фотосинтеза; резкое улучшение усвояемости растениями азота, фосфора, молибдена; заметное улучшение структуры почвы [40].

Ещё в 1950-х гг. в многолетних опытах Республиканской сельскохозяйственной опытной станции было надежно показано резкое повышение урожайности после известкования наших подзолистых почв; внесение 3–4 т CaCO₃ на га повышало средние урожаи (в ц):

озимой ржи	на 3–7
ячменя	4 – 7
яровой пшеницы	2 – 3
овса	5 – 10
клевера с тимофеевкой (за два года)	25–30 (сена)

Эти общеизвестные данные настолько убедительны, а агротехнические мероприятия по известкованию так просты, что дело сводится, по существу, только к экономике: нужно иметь недорогую известь и транспортные средства для её доставки и распыления на полях.

В этой ситуации зола сланцев, как заменитель извести, имеет огромные достоинства. Так, в среднем по Эстонии прирост урожая после известкования составил 2.5 ц кормовых единиц с гектара; на эти цели ежегодно расходуется около 3 млн тонн золы! Экономический эффект известкования сланцевой золой составляет по ЭССР 5.5 млн руб. в год. По данным Министерства сельского хозяйства СССР потребность в сланцевозольных удобрениях составляет 13.5 млн т, причем экономически выгодно перевозить золы на расстояние до 1200 км! *«Практически всю золу электростанций, работающих на сланце, можно хоть сейчас взять на поля»* [37, с. 10].

Резкое увеличение объемов известкования кислых почв в Эстонии стало возможным благодаря механизации работ и широкому использованию не только непылящей сланцевой золы, но и её пылевидных фракций. Разработаны, серийно выпускаются и подробно описаны все необходимые транспортные средства, использован и обобщен лучший зарубежный опыт (ГДР, ЧССР, Швеции и др.), произведен детальный экономический анализ эффективности всего процесса [60].

Замечательные свойства сланцевой золы как удобрения определяются следующими:

а) вследствие высокого содержания карбонатов в исходных сланцах, в золе много CaO и MgO, частью в соединениях с Al, Si, Fe, частью в свободном виде. Эти соединения при гидролизе дают щелочную реакцию, и поэтому сланцевая зола по своей нейтрализующей способности не намного уступает обычному известняку CaCO₃;

б) сланцевая зола дисперсна, поэтому отпадают затраты на дробление известняка;

в) сланцевая зола получается бесплатно, и поэтому отпадают затраты на добычу природных известковых материалов (известняков, доломитов, мергелей, гажи, туфов);

г) в отличие от известняка, в сланцевой золе имеются и другие необходимые растениям макроэлементы (К, Р, Mg, S) в форме, достаточно доступной растениям;

д) кроме макроэлементов, в сланцевой золе имеются, нередко в довольно высоких концентрациях, и микроэлементы (В, Мо, Zn, Cu, Со), так что они одновременно являются и микроудобрениями⁷.

Обычно при известковании почв известьсодержащими материалами принято выражать потребность в известковании в единицах CaCO_3 . Однако теоретически оценить количество золы (в т/га), необходимое для известкования, можно лишь очень приблизительно. Дело в том, что простой пересчет $\text{CaO} + \text{MgO}$ на количество эквивалентного CaCO_3 сомнителен по следующим причинам:

1) в золе имеется неопределенное количество свободной CaO ; её нейтрализующее действие намного сильнее, чем у CaCO_3 , поэтому единице CaO отвечают 1.78 единиц эквивалентного CaCO_3 ;

2) в золе имеются силикаты К и Na, также дающие при гидролизе щелочную реакцию, и тем вносящие определенный вклад в снижение кислотности почвы, Этот вклад, по-видимому, тем больше, чем больше содержание K_2O и Na_2O и чем больше в золе стекловатой фазы, легче гидролизуемой, чем кристаллическая.

Таким образом, реальная нейтрализующая сила золы выше, чем можно судить по нормативному содержанию CaCO_3 , вычисленному по сумме $\text{CaO} + \text{MgO}$. Если в целях упрощения расчета этим пренебречь, то для золы сырьевых сланцев, содержащих в среднем 25 % CaO , 3 % MgO , 2 % K_2O и 0.5 % Na_2O , содержание условного CaO составит 30 %, что отвечает 53 % нормативного CaCO_3 . Видимо, не будет большой ошибки увеличить это нормативное содержание до 60 %. **Итак, одна тонна сланцевой золы эквивалентна 6 ц CaCO_3 .** Следовательно, при известковании сильно кислой тяжелой суглинистой почвы, требующей 6 т CaCO_3 на гектар, — нужно будет внести 10 т сланцевой золы указанного выше состава [56, с. 13]. Несмотря на сугубую приблизительность этих расчетов (настоящие нормы внесения золы можно получить только в полевых опытах), отметим одно существенное обстоятельство: «пересол», то есть избыточная доза золы) гораздо менее опасен, чем

⁷ Использование золы как микроудобрения рассматривается ниже (см. п. 5.3.2.)

«недосол». Действительно, по данным Коми республиканской сельскохозяйственной опытной станции [48, с. 17], даже при внесении в почву 9–10 т/га негашеной извести СаО (что отвечает 15–16 т СаСО₃ или двум нормам по гидролитической кислотности почвы) — все зерновые хлеба и клеверотимофеечные травосмеси не испытывали угнетения, всё ещё повышали свою урожайность, хотя рН почвы повысился до 7.4 и даже более. Это обстоятельство представляется нам очень важным. Дело в том, что чем больше золы можно вывезти на поля — тем это выгоднее. Ясно, что дешевле произвести 100 га данным количеством золы, чем распределить это же количество на 200 га.

Есть и осложняющее обстоятельство. Действие известкования длительное: оно продолжается, как минимум, 3–5 лет, а это значит, что на одно поле нельзя вносить золу ежегодно, что может обострить проблему утилизации золы.

Прделаем теперь сугубо приближенный расчет. Если приять, что площадь пахотных земель в Республике, остро нуждающихся в известковании, составляет около 60 тыс. га, то при норме внесения золы 10 т/га для однократного известкования понадобится 600 тыс. тонн золы. Это количество отвечает примерно 1 млн тонн добытого сланца. Таким образом, при уровне добычи сланца около 2 млн тонн в год, одно только известкование может поглотить, как минимум, половину этого количества. Минимум потому, что мы не учитывали почв со средней потребностью в известковании, а также пренебрегли всеми луговыми кислыми почвами, для которых известкование также весьма эффективно. Если же учесть, что финальный объем добычи (2 млн тонн) может быть достигнут лишь постепенно, на что уйдет, с начала разработки, 5–10 лет, — то **производимая зола, по-видимому, полностью может быть реализована как удобрение**. Нет необходимости доказывать важность этого вывода: его экологическое значение (не говоря уже об экономическом, сулящем миллионы рублей прибыли) — невозможно переоценить.

5.3.2. Микроэлементное удобрение

Битуминозное органическое вещество сланцев (кероген) характеризуется присутствием ряда элементов-примесей, нередко в содержаниях, представляющих даже промышленный интерес. Например, кембрийские ураноносные сланцы Швеции были сырьем для получения урана⁸. Особенность

⁸ Также как и залегающие под кукерситами эстонские диктионемовые сланцы нижнего ордовика, из которых в 1948–1952 гг. было получено 22.5 т урана. Эти (некогда совершенно секретные) сведения были обнаружены эстонскими геологами сравнительно недавно — в 2009 г. (**Примечание-2012**).

черных сланцев, как редкометального сырья – сравнительно невысокий уровень содержания металлов, но зато весьма значительные запасы. В общем, как источник получения урана, молибдена, ванадия, золота, рения, селена и ряда других ценных элементов-примесей, черные сланцы представляют собою сырьё будущего – когда энергетические затраты на их разработку не будут считаться существенным фактором. Однако как микроэлементное удобрение зола черных сланцев может применяться уже сейчас, так как при известковании почв мы одновременно вносим с золой и микроэлементы. Поэтому необходимо иметь сведения о содержаниях микроэлементов в золе наших сланцев.

Такая работа была проделана в Институте геологии Коми филиала АН СССР аналитиками, канд. геол.-мин. наук Г. Е. Юшковой и Т. И. Ивановой под руководством автора. Пока что удалось изучить только находящиеся в разведке сланцы Сысольского района.

Предварительно были изучены результаты полуколичественных спектральных анализов золы сланцев и пород сланценой толщи, выполненные в УГРЭ. Эти анализы показали наличие многочисленных *геохимических аномалий* по отдельным элементам-примесям. Довольно легко было установлено, какие аномалии можно связывать с концентрированием элементов-примесей керогеном, и какие – с минеральными компонентами сланцев или околосланцевых пород. Группа элементов, тяготеющих к керогену, включает в себя молибден, никель, кобальт, ванадий, медь, хром и цинк. Кроме того, хотя эти элементы не определялись, можно уверенно допускать наличие в сланцах связанных преимущественно с керогеном рения и селена. Сильные аномалии по марганцу (по полуколичественным данным – до 3 %) контролировались присутствующим в сланцах и околосланцевых глинах карбонатным веществом. И, наконец, мощные аномалии по никелю⁹, бору и кобальту оказались связанными с глауконитом. В этом – очень интересная специфика наших сланцев, не отмеченная для сланцев других регионов.

Предварительные данные о средних содержаниях элементов-примесей, полученные Г. Е. Юшковой и Т. И. Ивановой (определявшей бор) методом эмиссионного количественного спектрального анализа на спектрографе СТЭ-1, сведены в табл. 7. Их следует рассматривать как предварительные потому, что основа эталонов (прокаленная серая глина сланценой толщи) не полностью отвечала проанализированным пробам, большая часть которых представляла собою неозоленный сланец.

⁹ В последние годы геологами Института геологии Коми НЦ была выявлена и сульфидная форма никеля (**Примечание-2012**).

Таблица 7

Статистическая характеристика распределения некоторых элементов-примесей в сланцевых отложениях Сысольского района. В числителе — величина $x_{cp} \pm S_{x_{cp}}$, г/т, в знаменателе — коэф. вариации, %

A ^a , %	Ni	Mo	V	B	Cr	Cu	Zn	Co
Глины подсланцевой толщи (J _{3k} -км), n = 9								
(91 ± 1)/3.5	(97 ± 10)/32	(4 ± 1.5)/112	(188 ± 29)/144	(227 ± 29)/34	(198 ± 43)/64	(27 ± 2)/24	(105 ± 3)/8	(20 ± 5)/79
«Керогенсодержащие» глины сланцевой толщи (J _{3v}), n = 36								
(82 ± 1)/5	(125 ± 7)/35	(6 ± 0.7)/68	(145 ± 24)/97	(162 ± 14)/45	(116 ± 24)/124	(40 ± 4)/67	(101 ± 5)/28	(19 ± 3)/96
Глины сланцевой толщи (J _{3v}), n = 6								
(95 ± 0.2)/1	(103 ± 13)/31	(4 ± 1)/60	(73 ± 18)/60	(84 ± 14)/41	(64 ± 14)/50	(21 ± 4)/43	(134 ± 25)/47	(20 ± 4)/52
Карбонатные глины и мергели (J ₃), n = 18								
(84 ± 2)/11	(94 ± 16)/72	(0.9 ± 0.2)/96	(27 ± 5)/74	(67 ± 8)/44	(18 ± 3)/73	(16 ± 4)/107	(70 ± 6)/32	(8 ± 2)/88
Карбонатные глины и мергели (K ₁), n = 8								
(87 ± 3)/8	(18 ± 2)/30	0.5/—	(10 ± 3)/80	(49 ± 6)/35	(5 ± 2)/104	(11 ± 2)/58	(56 ± 3)/17	(4 ± 1.6)/119
Пески (J ₃), n = 9								
(89 ± 3)/10	(117 ± 17)/42	(7 ± 2)/91	(128 ± 23)/51	(180 ± 53)/51	(133 ± 32)/68	(41 ± 5)/38	(115 ± 10)/27	(19 ± 5)/72
Глауконитсодержащие породы (J-K ₁), n = 26								
(88 ± 1)/5	(445 ± 35)/40	(11 ± 4)/177	(159 ± 22)/70	(302 ± 66)/58	(136 ± 20)/75	(39 ± 5)/60	(200 ± 26)/67	(124 ± 20)/60
Высокосольные горючие сланцы (J _{3v}), n = 21								
(80 ± 1.5)/9	(154 ± 10)/30	(46 ± 9)/84	(162 ± 2)/57	(135 ± 16)/49	(56 ± 7)/59	(45 ± 4)/41	(95 ± 7)/32	(21 ± 3)/75
Горючие сланцы (J _{3v}), n = 39								
(62 ± 1)/9	(186 ± 9)/28	(40 ± 3)/45	(318 ± 26)/51	(70 ± 6)/45	(52 ± 5)/61	(49 ± 4)/52	(128 ± 7)/32	(15 ± 1.6)/62

В дальнейшем намечается эти работы значительно углубить и расширить. Однако и полученные уже данные показывают обогащение золы сланцев молибденом, никелем, ванадием и цинком, а глауконит-содержащих пород — никелем, кобальтом, цинком и бором. Вполне возможно, что часть никеля, кобальта и бора в сланцах тоже связана с примесью глауконита, который попадает не только в породах, но и в самих сланцах. Полученные средние содержания, конечно, значительно ниже аномальных, выявленных по полуколичественным анализам. Достаточно сказать, например, что аномалии по Мо доходили до 0.1–0.2 %. Тем не менее, и такие содержания представляют интерес, так как позволяют рассматривать золу сланцев как бедное микроэлементное удобрение. Ценность его значительно возрастает вследствие частого присутствия в повышенных содержаниях такого важного макроэлемента, как фосфора, а также марганца, связанного с карбонатным веществом

Эффективное использование зол как микроудобрений требует больших доз золы, ибо зола, конечно, значительно беднее микроэлементами, нежели дорогие искусственные микроудобрения. Так, по рекомендациям Я. В. Пейве [43] для удобрения горохо-овсяных смесей используют 0.2 кг Мо на 1 га. Если в сланцевой золе содержится Мо, то для внесения указанного количества Мо понадобится 20 т золы, а не 10, по потребности в известковании. Наконец, следует учитывать, что всякое известкование снижает доступность для растений микроэлементов В, Си, Со, Зп. Значит, увеличение дозы золы, несущей эти элементы, по-видимому, должно «перевесить» это негативное действие известкования.

6. ПОПУТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД СЛАНЦЕНОСНОГО РАЗРЕЗА

Горючие сланцы почти на всей территории Республики залегают на довольно значительной глубине. Даже в вариантах с открытой разработкой полезного ископаемого, глубина карьеров будет составлять, по-видимому, не менее 50 м. Это означает, что в отвал пойдут огромные массы осадочных пород. Хорошо известно, что объем горной массы, вынутой на поверхность, — заметно больше первоначального, при естественном залегании её в недрах. Поэтому, даже при полной забутовке выработанного пространства, значительная часть породы останется на поверхности.

Между тем, как непосредственно сланценосная толща, так и перекрывающие её отложения, — содержат ряд полезных ископаемых, которые могут быть отнесены к агрорудам, рудам и строительным материалам. В их числе: глины, в особенности глауконитсодержащие, глауконитовые пески, фосфориты, известняки и мергели.

6.1. Агроруды

Глины могут найти применение при глиновании бедных легких песчаных почв. Уже довольно давно стало ясным, что удобрение таких почв не даёт достаточного эффекта вследствие малого содержания в них минеральных коллоидов. Значительная часть вносимых удобрений из них просто вымывается, не попадая в растения. Как показали исследования А. А. Низовой [41], глинование, особенно на фоне известкования, резко улучшает агротехнические характеристики почвы и повышает урожайность. Согласно её данным, внесение в пахотный слой песчаной дерново-подзолистой почвы 40–60 т/га глины на фоне извести продолжало благоприятно действовать и на третий год севооборота, повысив урожай многолетних трав первого года пользования на 23–31 %, причем все показатели были выше при дозе 60 т/га. Внесение 60 т/га глины на фоне извести (0.5 от гидролитической кислотности) с одновременным посевом азотфиксирующей бобовой культуры в год внесения глины сопровождалось увеличением минеральных форм азота; по мнению А. А. Низовой — это эффективный прием повышения плодородия песчаных дерново-подзолистых почв.

Нельзя не признать впечатляющими результаты внесения в почву широко известной гидрослюдистой кембрийской «синей глины», полученные в опытах группы ленинградских ученых [49]. При внесении её в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву в количестве 50 м³/га, на фоне $\text{Na}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ была получена прибавка урожая кормовых бобов на 63.2 %.

Пески, в особенности глауконит- и фосфатсодержащие, оказываются эффективным средством подъема урожайности тяжелосуглинистых почв. Так, в работе А. А. Плисова и др. [44] описаны результаты вегетационных опытов на дерново-подзолистой супесчаной почве Ленинградской области, с внесением в неё глауконитового фосфатного песчаника с р. Ижора, содержавшего 6.2 % P_2O_5 и 2.4 % K_2O . При внесении 160 г песчаника на фоне НК прибавка урожая кормовых бобов составила 23.3%, а 140 г обожженного песчаника на фоне $NK_{0,67}$ дало прибавку 31.2%. Неплохие результаты дало также применение нижнеордовикских оболочковых песков, содержавших 6.7 % P_2O_5 и 0.09 % K_2O . При внесении их в количестве 150 г была получена прибавка урожая 28.0%.

Как подчеркивают Ф. Я. Сапрыкин и др. [49, с. 49] применение оболочковых песков в полевых опытах (100 м³/га) имело многообразные благоприятные последствия. Объемная масса тяжелосуглинистой почвы снизилась с 1.48 до 1.37 г/см³, коэф. водопоглощения – с 696 до 439, тогда как коэф. фильтрации увеличился с 0.12 до 1.69 мм/мин. Такое увеличение водопроницаемости (в 14 раз!) благотворно сказалось на аэрации почвы; в результате почти вдвое возросло содержание доступного растениям азота и биологическая активность. Значительно улучшились и другие показатели: снизилось число дней с избыточной влажностью в корнеобитаемом слое, повысился рН, снизилась гидролитическая кислотность, увеличилось содержание подвижного Р и обменного К. Исходя из ряда успешных полевых и производственных опытов, ленинградские ученые пропагандируют *«агрогеохимический метод ускоренного окультуривания почв и повышения их плодородия с использованием в качестве добавок местных горных пород и отходов горнодобывающей промышленности»*. Авторы подчеркивают, что расходы на агрогеохимическое окультуривание и повышение урожая на тяжелосуглинистых, песчаных и торфяных почвах окупаются в течение 1–3 лет.

Фосфориты. При добыче сланцев на-гора неизбежно будут извлекаться и слои, обогащенные фосфоритами. Фосфориты известны как в сланценозной толще, так и в перекрывающих её меловых отложениях. Наиболее богатые пласты содержат до 150 кг/м³ фосфоритовых конкреций, бедные – в 3–5 раз меньше. Если самостоятельная добыча желваковых фосфоритов в нашем регионе безусловно нерентабельна, то выбрасывать в отвал фосфориты при вскрыше сланцев – было бы вопиющей бесхозяйственностью.

Как известно, обогащенные фосфоритовые конкреции являются сырьем для приготовления *фосфоритной муки* – прекрасного фосфорного удобрения. Как подчеркивает Ю. П. Сиротин [50, с. 25–26], содержание P_2O_5 в фосфоритной муке *«сколько-нибудь существенного значения не*

имеет. Фосфоритную муку принято вносить в почву не по весу тука/ весу общей массы, а по содержанию в ней P_2O_5 . Поэтому для растения не важно, в каком объеме фосфоритной муки содержится необходимое ему количество фосфорной кислоты». То, что Ю. П. Сиротин прав, подтверждается и упомянутыми выше результатами ленинградских исследователей, которые использовали в качестве агроруды хвосты обогащения ПО «Фосфорит», содержавшие всего 3.95 % P_2O_5 [49, с. 46].

Эффективное действие фосфоритной муки как дешевого удобрения общеизвестно: к её широкому применению призывал ещё Д. Н. Прянишников. Многолетний производственный опыт показал, что наиболее эффективно внесение её в виде компоста с органическими удобрениями. Доза её зависит от обеспеченности почвы фосфором, и, конечно, от содержания в муке P_2O_5 .

Технология производства фосфоритной муки давно отработана и крайне проста [50, с. 18]. Фосфоритоносный слой стребается бульдозером в штабеля (при шахтной добыче сланцев нужно будет выдавать фосфатоносный слой в отдельный отвал). Из штабелей фосфоритоносную породу тракторным погрузчиком грузят на самосвалы, которые доставляют её к загрузочному бункеру грохота типа ГУП-1. На грохоте конкреции фосфорита отделяются от пустой породы и подаются ленточным транспортером сначала в щековую, затем в молотковую дробилку, раздробленный фосфоритовый концентрат подаётся транспортером в сушилку. Она может работать на сланце или продуктах его переработки. Высушенный фосфорит поступает в мельницу. Самое главное в этом производстве — получение муки с достаточно тонким помолом (не менее 80 % её должно быть мельче 0.18 мм), ибо только при этом условии фосфоритная мука оказывает свое удобрительное действие. Себестоимость 1 т фосфоритной муки при таком способе её производства (применявшимся в Калужской области в 1950-х гг.) составляла 0.8–0.9 руб.

6.2. Стройматериалы

Использование глин, песков, мергелей как строительных материалов не требует специальных пояснений. Обратим внимание лишь на *возможность получения керамзита из некарбонатных глин* гидрослюдисто-монтмориллонитового состава. По данным, приведенным в брошюре С. Ф. Бугрима [5] использование керамзита местного производства весьма эффективно показало себя в газозлобетонах, так как радикально снижает их трещиноватость. В результате такой бетон можно использовать не только для самонесущих, но и для несущих панелей наружных стен.

6.3. Другие полезные ископаемые

Несомненный интерес представляет подсланценовая песчаная толща келловей, изучавшаяся сотрудниками Института геологии Коми филиала АН СССР Б. А. Голдиным, М. В. Фишманом, В. П. Давыдовым в 1965 г. [19] Она сложена прекрасно отсортированными морскими кварцевыми песками, в которых кварц составляет 95–96%, а выход мелкопесчаной фракции 0.10–0.25 мм – около 95 %. Уже эти данные заставляют обратить на келловейские пески (минимальной мощностью 10 м) внимание как на заполнитель бетона, материал для дорожного строительства и сырье для стекольного производства. Однако особый интерес представляет устойчиво повышенное содержание минералов титана и (более спорадически) – тория. Среднее содержание рутила составляет 2–3 кг/т, ильменита около 5 кг/т. В одной из бороздовых секционных проб электромагнитная фракция (2.75 г) на 20 % состояла из монацита. Используя приведенные авторами данные об объеме этой пробы (0.5 м × 0.1 м × 0.03 м) и принимая объемный вес песков около 1.7 г/см³, получим вес пробы около 2.5 кг. Тогда содержание монацита составит около 1 кг/т! Столь высокие содержания минералов титана и тория в рыхлых отложениях, залегающих недалеко от дневной поверхности, представляют значительный интерес, и обязательно требуют изучения на всей территории развития сланценовой толщи.

7. ПРОБЛЕМЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Из предыдущего изложения ясно, что горючие сланцы представляют собою необычный вид полезного ископаемого, с удивительно многообразными возможными применениями. Однако для определения путей оптимального использования горючих сланцев нашего региона необходима организация широких научных исследований в сопровождении не только лабораторных, но опытно-промышленных экспериментов. Без таких — значительных по объему, длительных и трудоемких научно-исследовательских работ, освоить ресурсы горючих сланцев невозможно. Ниже мы рассмотрим основные проблемы научно-исследовательских работ по горючим сланцам.

7.1. Ограниченность прямых аналогий

Необходимо иметь в виду, что горючие сланцы — весьма специфический вид полезного ископаемого, сильно отличающийся от каменных и бурых углей. Выступая на I Международном Симпозиуме ООН по горючим сланцам в Таллине, 1968 г., крупнейший специалист по химии сланцев проф. А. С. Фомина подчеркнула, что горючие сланцы — особый тип каустобиолитов. *«При их накоплении природа не была рутинной и проявила много разнообразия. В одних условиях она уничтожала почти все классы соединений и пользовалась только жирными кислотами, в других — не гнушалась углеводами и продуктами распада протеинов и т. д. Она проводила свои синтезы, вопреки нашим представлениям, как в восстановительной среде, так и в присутствии кислорода»* [53, с. 222].

Излагая ряд аспектов освоения горючих сланцев, мы, по необходимости, постоянно вынуждены были ссылаться на материалы по прибалтийским кукурситам. Однако нельзя забывать, что между нашими юрскими сланцами и кукурситами среднего ордовика имеется огромная разница. Поэтому все данные по кукурситам можно использовать лишь для общей ориентировки в проблеме. Об этом хорошо сказал на упомянутом Симпозиуме видный американский специалист Р. Дж. Камерон:

«Мы должны быть чрезвычайно осторожными в попытках непосредственного применения чужого опыта <...>. Каждая страна и каждое месторождение горючих сланцев выдвигают различные проблемы. Поэтому технология переработки сланцев каждого месторождения, по-видимому, будет различаться, В качестве примера можно привести эстонские сланцы, которые имеют на 50 % более высокую теплоту сгорания, чем промышленные запасы сланцев в Колорадо и почти вдвое выше, чем лучшие бразильские. Вследствие различий в качестве технология переработки эстонских сланцев не может быть непосредствен-

но применена ни к сланцам США, ни к сланцам Бразилии <...>. По тем же причинам, методы, разработанные в США, не могут быть прямо применены в Эстонии или в другом месте. В Эстонии электроэнергия, газ, химические и строительные материалы являются основными продуктами. В США основной целью должно быть получение смолы, потому что уголь, природный газ и ядерная энергия обеспечивают получение дешевой электроэнергии в больших количествах <...>. Некоторые химические продукты, несомненно, могут быть получены в качестве побочных, но они не могут стать основой сланцеперерабатывающей промышленности в США. Наконец, строительные материалы и другие пути использования золы горючих сланцев Колорадо не могут иметь большого значения, потому что рынок сбыта для таких материалов невелик на Западе, где расположены залежи наших горючих сланцев» [29, с. 575–576].

Приводя все эти, несомненно правильные соображения, мы все же хотели бы заметить, что для нас наиболее ценные аналогии представляют горючие сланцы Приволжского и Общесыртовского бассейнов. Они схожи с нашими по возрасту и условиям образования, очень похожи и сами сланценозные толщи. Поэтому опыт промышленного освоения поволжских сланцев, насчитывающий уже несколько десятилетий — для нас драгоценен. Особо интересны те выводы, к которым пришел А. А. Новопашин [42] в отношении добычи и переработки сланцев.

7.2. Новые идеи в планировании сланцедобычи и переработки

Опыт промышленной разработки поволжских сланцев ясно показывает, что проблема утилизации минеральной части сланца неотделима от использования его органической части. А это означает, что планирование того и другого должно выполняться одновременно. Например, может показаться, что до начала сланцедобычи не так уж актуален вопрос (казалось бы, очень частный) о способе золоудаления при сжигании сланца на ТЭС. Оказывается, этот вопрос должен быть решен уже сейчас, ибо от этого зависит способ использования золы или шлака.

По мнению А. А. Новопашина [42, с. 113] из двух способов сжигания сланца — с пылевидным и с жидким золоудалением, следует отдать предпочтение первому: *«при расплавлении золы получается хотя и однородный, но гидратационно малоактивный волластонит-анортитовый шлак. Этот шлак может служить хорошим заполнителем в бетоне, но как компонент вяжущего он неэффективен. В то же время пылевидная зола, даже при содержании 30–35 % неактивных минералов, обладает высокими вяжущими свойствами»*. Что касается гидрозолоудаления, то оно

вообще недопустимо: *«при этом полностью теряется активность золы, стоимость гидрозолоудаления составляет около 0.5 руб/т, получающиеся воды перед сбросом требуют очистки от растворенных веществ»*.

— Значит ли это, что при сжигании наших сланцев мы также должны ориентироваться на пылевидное золоудаление?

— Заранее, без специальных экономических исследований, ответить на этот вопрос невозможно. Всё будет зависеть от того, какой вариант (варианты) использования сланцев будет избран, какое производство поглотит львиную долю золы. Если таким производством будет цементное и сельскохозяйственное, то предпочтение следует отдать рекомендованному А. А. Новопашиным пылевидному золоудалению, но если главным потребителем окажется промышленность легких бетонов, то гораздо выгоднее при сжигании сланца сразу производить зольный гравий, то есть реализовать жидкое золоудаление. Этот пример ясно показывает, что освоение сланцев — это сложная комплексная проблема, все части которой тесно взаимосвязаны.

Исключительный интерес представляет разработанная А. А. Новопашиным схема комплексной переработки поволжских сланцев для производства стройматериалов.

1. Из шахты или карьера пустые породы, не использованные для забутовки выработок, а также часть сланца направляются на агломерационную фабрику, где они измельчаются, гранулируются и подвергаются обжигу на агломерационных ленточных машинах.

2. Получающийся при этом газ направляется в установки для улавливания и переработки органических веществ.

3. Полученный аглопорит дробится и фракционируется для получения крупного и мелкого заполнителя для легких бетонов.

4. Добытый сланец поступает на ТЭЦ, где дробится, размалывается в тонкий порошок и сжигается в топках котлов. Зола улавливается системой пылеосадительных устройств, проходит через гидратор, где гасится свободная известь, и пневмотранспортом подается в силосы.

Для превращения золы в строительные материалы считается целесообразным организовать следующие производства: а) аглопоритовый завод; б) завод сланцевых вяжущих, на котором сланцевая зола, портландцементный клинкер и известь размалываются раздельно и затем перемешиваются в нужных пропорциях; в) завод аглопоритобетонных изделий и конструкций, изготовляющий стеновые блоки и панели и весь ассортимент железобетонных несущих конструкций для жилищного и промышленного строительства; г) завод изделий из газобетона; д) завод литых сланцевозольных блоков и камней; е) завод минераловатных изделий для теплоизоляции с использованием в качестве сырья некондиционного аглопорита; ж) завод товарного бетона и раствора.

Мы видим, что в отношении горючих сланцев традиционная простая схема: поиски \Rightarrow разведка \Rightarrow добыча оказывается уже совершенно недостаточной. **Оказывается, задолго до начала добычи необходимо спроектировать и своевременно построить целый комплекс предприятий, а не только одни ТЭС и сланцеперегонные заводы.** Очевидно, что такое комплексное планирование намного сложнее традиционного. Особенно интересно, что комплексный подход к сырью вынуждает искать и новые пути его переработки. Таким путем в схеме А. А. Новопашина является агломерация породно-сланцевой смеси с получением, с одной стороны, аглопорита, и с другой – продуктов перегонки сланца. **Такой технологический процесс еще никем не был реализован, его необходимо проверить и отлаживать.**

7.3. Перспективные направления научных исследований

В настоящее время ведутся геологоразведочные работы на сланцы Сысольского и Яренгского бассейнов, в которых уже подсчитаны промышленные запасы ряда месторождений. Вполне вероятно, что добыча сланцев могла бы начаться уже к концу 1990-х годов¹⁰.

Между тем, объем научных исследований по проблеме горючих сланцев пока ещё совершенно недостаточен. Отделом горючих ископаемых Института геологии проработан только вопрос о перспективных ресурсах сланцев, Лабораторией литологии этого же Института ведутся геохимические исследования сланцев по договору с Вычегодской партией УГРЭ; к изучению качества сланцев подключены некоторые специалисты Ленинграда и Эстонии. Однако большая часть проблем не только не разрабатывается, но даже отчетливо и не сформулирована. Ниже мы попытаемся определить основные направления, в которых в самое короткое время необходимо развернуть научные исследования.

7.3.1. Рациональное размещение промышленных объектов

Эта проблема – эколого-экономическая. Выше назывались некоторые из предложенных вариантов размещения ТЭС. Но нельзя забывать, что ТЭС будут «производить» не одну электроэнергию, но и горы золы. Выше было показано, что эта зола должна рассматриваться не как отход, а как сырье для производства цемента, зольного гравия, строительных материалов. На эти цели ориентировочно будет расходоваться от 1/3 до 1/2 всего объема золы, остальное пойдет на известкование почв. Едва ли вызывает сомнение, что

¹⁰ По прошествии более 30 лет, на протяжении которых исчез СССР, а социализм в России сменился олигархическим капитализмом, этот прогноз может быть квалифицирован как Сверхнаивность! (Примечание-2012).

СДП, ТЭС и заводы, использующие золу, должны увязываться в едином комплексе и располагаться в непосредственной близости, чтобы свести к минимуму (или вовсе исключить) транспортные расходы. **Ясно, что эта новая и сложная проблематика нуждается в весьма основательной научной проработке.** В ней должны быть заняты экономисты, горняки, энергетики, строители, специалисты по охране окружающей среды.

7.3.2. Изучение технологического передела сланцев

Если энергетическое использование сланцев – вопрос завтрашнего дня, то использование их в химической промышленности – проблема, так сказать, послезавтрашнего дня. Она станет полностью актуальной, когда будут разрабатываться залежи наиболее качественных ижемских сланцев. Однако уже сейчас необходимо отобрать достаточное количество представительных проб сланцев хорошего качества (с теплотворной способностью не ниже 2500–3000 ккал/кг) для проведения хотя бы лабораторных испытаний их в качестве технологического сырья. Правда, такие испытания периодически проводятся в процессе геологопоисковых работ, но объем их совершенно недостаточен. Понадобится также специально изучать проблему утилизации серы в ижемских сланцах, ибо их высокая сернистость может не только создать большие трудности при переработке, но и серьезно угрожать окружающей среде.

7.3.3. Изучение обогатимости сланцев

Приводившиеся данные о теплотворной способности сланцев относятся только к пластам самого сланца. Но большая часть таких пластов, во-первых, маломощна, во-вторых, имеет сложное строение, то есть переслоена тонкими породными прослоями. В этих условиях практически нереальна добыча сланца, не загрязненного породой. Поэтому, как уже говорилось, обогащение сланцев окажется неизбежным. Необходимо развернуть широкие исследования обогатимости сланцев, с тем, чтобы подобрать наиболее рациональную схему. Вполне возможно, что эти схемы для сланцев разных наших месторождений окажутся разными. От того, каким будет выход продуктов обогащения сланцев (относительно малозольного концентрата, крупного щебня, сланцевой и породной мелочи) в сильнейшей степени зависят возможные пути утилизации сланцев. Например, если сланцы не удастся достаточно экономично обогатить до нужной калорийности, то единственным средством сжигания останется применение УТТ, допускающей сжигание даже низкокалорийного сланца. Но это, как мы видели, означает получение низкотехнологичной низкотемпературной золы, которая практически не годится для цементного производства. Соответственно нужно будет

ориентироваться на большее использование такой золы в других отраслях. От состава концентрата будет зависеть такой важный показатель, как плавкость золы и т. п.

7.3.4. Изучение агрономических свойств золы сланцев и пород сланценосной толщи

Все приводившиеся выше соображения базировались на литературных данных и лишь отчасти — на скудных сведениях о составе зол сысолевских и айювинских сланцев. Ясно, что для серьезного планирования нужно располагать неизмеримо большей информацией. Прежде всего, необходимо резко усилить химико-минералогическое изучение сланцев. Для этого в проектах и сметах на производство геологоразведочных работ на эти цели нужно предусматривать значительно большие ассигнования, чем это сейчас практикуется. Достаточно сказать, что для обоснованного планирования нужно иметь многие сотни полных химических анализов из всех основных пластов горючих сланцев (хотя бы рабочей мощности), а также из всех основных типов пород сланценосной толщи, в особенности из тех, которые обладают повышенной карбонатностью, несут примеси глауконита, содержат фосфориты и т. д. В настоящее время мы слишком мало знаем о составе золы сланцев, и практически ничего не знаем — о составе мергелей, глин, карбонатных глин, глауконитовых песков, фосфоритов.

Однако эта (геохимическая) проблематика — лишь первая, хотя и необходимая, часть работы. Вторая — и более сложна, и более трудоёмка. Она заключается в постановке длительных вегетационных и полевых опытов по применению сланцевой золы в качестве удобрения. К проведению этих опытов необходимо привлечь Институт биологии Коми филиала АН СССР и Республиканскую сельскохозяйственную опытную станцию. По существу только в таких опытах можно получить надежные исходные данные для выработки научных рекомендаций по применению сланцевой золы, песков, глин, фосфоритной муки в сельскохозяйственном производстве.

7.3.5. Изучение свойств золы сланцев как вяжущего

И здесь проблема разделяется на те же две части. Во-первых, нужны серьезные лабораторные проработки химического состава сланцевой золы и её свойств, как гидравлического вяжущего, подбор разных вариантов сырьевых смесей, добавок разных количеств дисперсных зол или молотых шлаков к портланд-цементам, испытания полученных вяжущих и т. д. Во-вторых, всё это необходимо провести в полупромышленных масштабах — на цементных заводах. При этом необходимо иметь в виду, что для полупромышленных опытов понадобятся сотни тонн золы. Значит, нужно уже сейчас проду-

мать вопрос о добыче опытных партий сланцев, объемом в первые тысячи тонн, и об их опытной сжигании в топках каких-либо ТЭС. Все сказанное в полной мере применимо и к опытам по сельскохозяйственному применению сланцев: ведь для полевых опытов с внесением 10–20 т золы на гектар понадобится несколько сотен тонн золы.

Очевидно, что все эти научно-исследовательские работы, опыты, испытания — и длительны, и трудоемки. Поэтому важно как можно раньше продумать вопросы их организации, подобрать подходящие научные учреждения и производственные единицы, на базе которых можно было бы их осуществить.

7.3.6. Изучение минеральной части сланцев и пород сланценосного разреза как сырья для стройиндустрии

Прежде всего, нужно проработать важный вопрос о наиболее целесообразных способах сжигания сланцев на ТЭС. Выше указывалось, что для сельскохозяйственного использования наиболее пригодна дисперсная пылевидная зола, но для использования золы в качестве наполнителя легких бетонов гораздо удобнее зольный гравий. Если сжигание сланцев производить в топках с жидким шлакоудалением, то отпадают затраты на получение зольного гравия, ибо получаемый гранулированный шлак вполне годится для непосредственного введения в бетонную смесь. Гранулированные шлаки удобны в транспортировке (не пылят), но для внесения их в почву потребуются их размалывание. Поэтому надо решить, что экономически целесообразнее:

а) получать пылевидные золы, из которых часть, предназначенную для легких бетонов, придется гранулировать на специальных установках;

б) получать гранулированные шлаки, из которых часть, предназначенную для сельскохозяйственного и цементного производств, придется размалывать;

в) получать одновременно оба продукта, для чего на одной ТЭС предусмотреть топки двух разных типов.

Вопрос этот очень важен; он должен быть исследован задолго до начала добычи сланцев и строительства ТЭС.

И здесь также нужно провести опыты по использованию зол и гранулированных шлаков в легких бетонах, ибо всё, что излагалось нами по этому вопросу, основано только на литературных данных.

Крупный объем исследований понадобится и для изучения пород сланценосного разреза. Необходимо изучить возможности получения из них аглопорита, керамзита, а также использования их как материалов для кирпичного и стекольного производства, как компонента бетонных смесей, как мате-

риала для дорожного строительства, как сырьевого материала для цементной промышленности (мергели!).

Данные о содержаниях монацита, рутила и ильменита в келловейских песках подсланценой толщи настолько интересны, что требуют обязательного проведения ревизионно-опробовательских работ с целью дальнейшего изучения минералогического состава этих песков. При этом выявление прослоев или пластов, обогащенных монацитом, по-видимому, может быть сделано с помощью простой полевой радиометрии: такие прослои (пласты) должны выделяться повышенной гамма-активностью.

7.3.7. Создание химико-аналитической базы

Чрезвычайно важен вопрос о скорейшем создании собственной лабораторной базы по изучению как сланцев, так и пород сланценосного разреза. В настоящее время организация, ведущая поисково-разведочные работы по сланцам – Вычегодская партия УГРЭ – все аналитические работы вынуждена проводить в лабораториях Воркуты, Ухты и Кохтла-Ярве. Ясно, что нормальная работа в таких условиях (многих анализов, которые необходимы для оперативной оценки того или иного пласта, приходится ждать месяцами) невозможна.

По нашему мнению, Вычегодская партия должна быть как можно скорее обеспечена собственной мощной химико-аналитической лабораторией. Эта лаборатория должна быть в состоянии выполнять весь комплекс работ по исследованию горючих сланцев, включая исследование их минеральной части, а также выполнять большое количество анализов вмещающих пород. Большую помощь в налаживании работы такой лаборатории мог бы оказать Отдел химии Коми филиала АН СССР и Объединенная химико-аналитическая лаборатория Полярно-Уральского Объединения, располагающая специалистами весьма высокой квалификации¹¹.

Необходимо подчеркнуть, что организация такой Лаборатории в Сыктывкаре, на базе Вычегодской партии, позволяет легко использовать мощный научно-технический потенциал, сосредоточенный в столице Коми АССР. Например, прецизионные количественно-минералогические исследования сланцев с помощью рентгеновского анализа заказываются Вычегодской партией в Тартусском университете. Но физики Сыктывкарского университета уже располагают самой современной аппаратурой для рентгеновского анализа и вполне могли бы

¹¹ В 1981 г. было просто невозможно вообразить, что мощная воркутинская геология с ее прекрасной лабораторией после развала СССР полностью погибнет, а немногие оставшиеся (не уехавшие или не умершие) геологи – переберутся в Сыктывкар, не имея здесь практически никакой лабораторной базы! (**Примечание-2012**).

(на договорных началах) полностью обеспечить все потребности Вычегодской партии в рентгеновских анализах. Аналогично, можно было бы разгрузить Спектральную лабораторию Ин-та геологии Коми филиала АН СССР (которая может выполнить лишь весьма ограниченный объем количественных анализов золы сланцев на элементы-примеси), и передать основную часть аналитических работ в Университет на хоздоговорных началах.

7.3.8. Координация научных исследований

Через каких-нибудь 10–12 лет сланцедобыча и сланцепереработка могут стать уже ощутимой частью экономики Коми АССР и сопредельных экономических районов. Между тем, изложенное выше показывает, что проблема освоения ресурсов горючих сланцев очень сложна. В ней много аспектов: собственно геологический (оценка перспективных запасов, выявление и подготовка разведкой месторождений), горный (системы отработки месторождений), экономический (размещение СДП и связанных с ними производств), технологический (схемы комплексной переработки сырья многоцелевого назначения), экологический (охрана окружающей среды).

Уже сейчас вопросами, так или иначе касающимися горючих сланцев, занимается ряд ведомств и учреждений как в Республике, так и за её пределами. В этой ситуации имеется опасность ненужного дублирования одних работ и полного забвения других. Выше, например, говорилось о том, что важнейшие проблемы использования золы сланцев в стройиндустрии и сельском хозяйстве вообще никем не изучаются; наоборот, геологическим обобщением одних и тех же исходных материалов занимаются не менее трех учреждений и ведомств.

Было бы целесообразно создать головной научно-исследовательский коллектив, на который возложить координационные функции в научно-исследовательских работах по сланцам. В такой коллектив должны входить геологи, горняки, технологи, инженеры-строители, экономисты, агрономы, специалисты по охране окружающей среды. На первых порах можно было бы создать такой коллектив при Коми филиале АН СССР, который уже сейчас мог бы развернуть работы по экономической оценке отдельных вариантов сланцедобычи и сланцепереработки (Отдел экономики), по сельскохозяйственному применению сланцевой золы и отходов сланцедобычи (Институт биологии), по охране среды, по изучению вещественного состава сланцев (Институт геологии). Следует иметь в виду, что эффективная работа такого коллектива возможна лишь при кооперации с производством, позволяющей проводить эксперименты в полупромышленном и промышленном масштабах.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоение крупных ресурсов горючих сланцев Коми АССР является экономической необходимостью. Несмотря на низкое качество сланцев и далеко не лучшие горно-геологические условия в таком районе, как Сысольский и отчасти Яренгский, добыча сланцев, по-видимому, может быть начата в конце 1990-х годов. Через 15–20 лет уровень сланцедобычи может достичь 2.0–2.5 млн. т/год, то есть составить до 10 % современного объема угледобычи в Печорском бассейне.

Особенность сланцев, как энерготехнологического сырья – огромный объем «отходов» переработки – требует качественно нового подхода к проблеме их освоения. Сланцы должны рассматриваться как комплексное сырье многоцелевого назначения; этому учит нас многолетний опыт развитой сланцевой промышленности Прибалтики (рис. 2, 3) и Поволжья.

Органическая часть сланцев является сырьем для производства электроэнергии, синтетического горючего и разнообразных химических продуктов, а **минеральная часть** – сырьем для сельскохозяйственного применения, цементной индустрии, промышленности строительных материалов. Поэтому однобокая ориентация только на энергетику была бы при освоении наших сланцев принципиально неверной. Это не только невыгодно с чисто экономической стороны, но и создаёт грозную опасность для окружающей среды.

Подход к сланцам, как к многоцелевому сырью, требует и пересмотра сложившихся шаблонов планирования. Вместе с проектированием СДП и ТЭС, необходимо одновременно проектировать обогатительные фабрики, цементные заводы, заводы по производству легкого бетона и силикатного кирпича, а может быть, и специальные производства для каменного литья.

Нельзя исключить даже того, что центр тяжести при разработке таких низкоккачественных сланцев, как Сысольские, будет смещен на производство стройматериалов, то есть на использование именно минеральной части сланцев. Имеются весьма интересные предложения (выработанные на основе многолетнего опыта разработки близких к нашим сланцев Поволжья) о совместной отработке сланца с сопровождающими глинами для крупнотоннажного производства аглопорита, при котором сланец служит одновременно и источником тепла при агломерации, и попутно дает ценные химические продукты. Такие предложения требуют пересмотра схем сланцедобычи и сланцепереработки и одновременно позволяют с выгодой разрабатывать очень низкоккачественные сланцы в пластах сложного строения.

При добыче сланцев, в особенности наиболее рентабельным открытым способом, необходимо будет предусмотреть хозяйственное использование больших масс осадочных пород вскрыши; в их числе сырье для промышленности

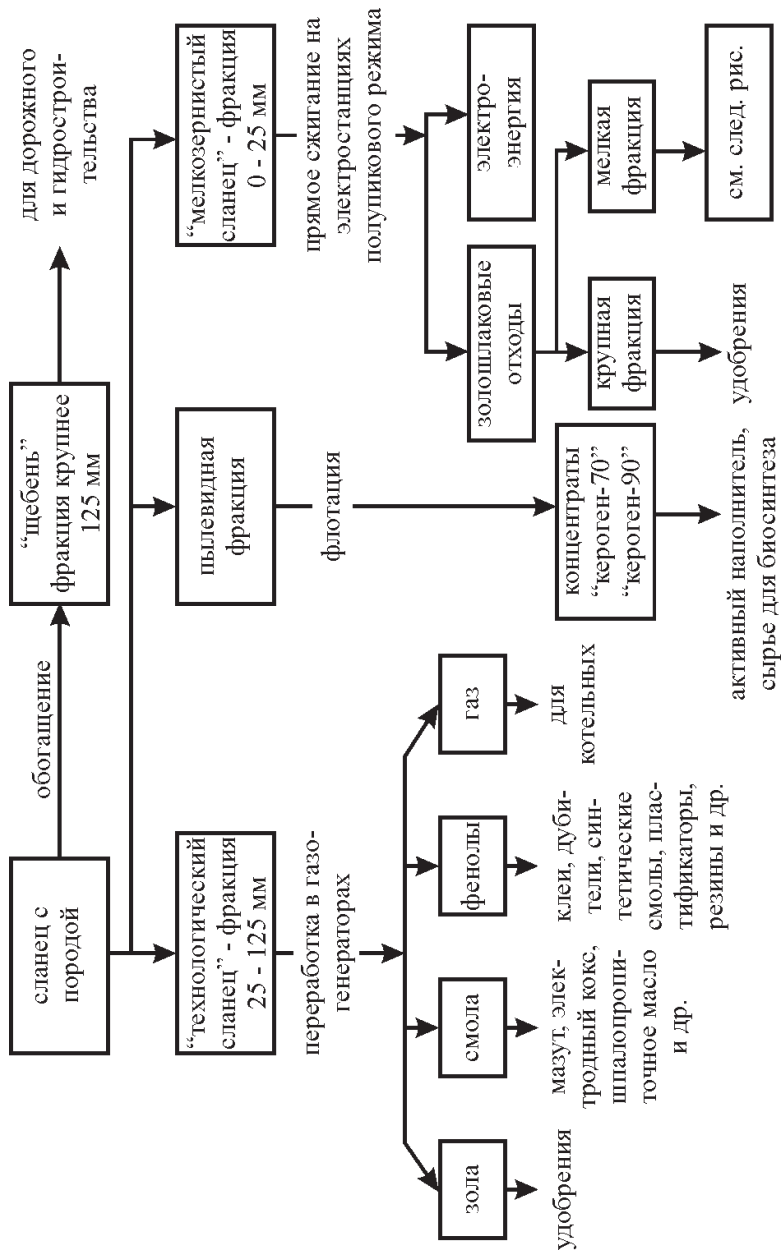


Рис. 2. Схема комплексной переработки горючих сланцев, разработанная в Ин-те химии Эстонской ССР.
 Взято у М. Марфина [Марфин, 1981]

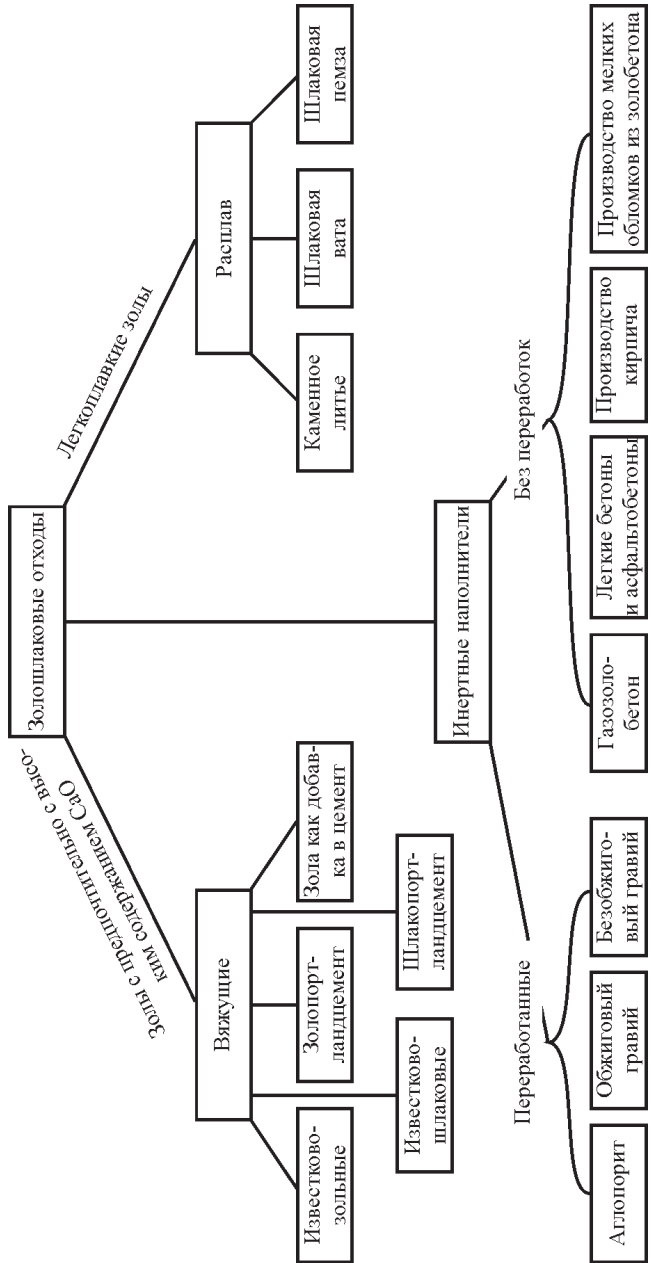


Рис. 3. Направления использования золошлаковых отходов для производства строительных материалов. Эстонские сланцы. *Взято у М. Марфина [Марфин, 1981]*

стройматериалов (известняки, пески, глины), агроруды (фосфориты, глауконитовые породы), возможные руды титана и др. элементов (рутиловые и монацитовые пески). Хотя бы частично, нужно будет утилизировать и отходы сланцеобогащения, количество которых будет весьма значительным. Примерные расчеты показывают, что около 1/2 всей золы сланцев, которая будет получена при сжигании их на ТЭС, может быть потреблена в сельском хозяйстве Республики для известкования кислых почв, и одновременно как микроудобрение, содержащее микроэлементы молибден, ванадий, бор, медь, кобальт, цинк, марганец.

Перспективы освоения горючих сланцев требуют разворота научных исследований по целому ряду проблем. Изложенные материалы показывают, что эти проблемы весьма сложны и многоаспектны. Поэтому необходимо, чтобы они были начаты как можно быстрее. Это во многом ускорит сроки возможного начала добычи сланцев.

Все работы по горючим сланцам Республики желательно четко скоординировать, а руководство ими сосредоточить в одних руках, возможно, под эгидой Коми филиала АН СССР.

ПОСЛЕСЛОВИЕ-2012

Для того, чтобы читатель мог с большей пользой использовать «архивную» рукопись-1981, при подготовке ее к печати мы обратились к сотрудникам Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН, доктору г.-м. наук Д. А. Бушневу и кандидатам г.-м. наук С. В. Льюрову и В. А. Салдину – с просьбой о повторном рецензировании текста-1981. Эти геологи откликнулись на нашу просьбу и любезно сообщили некоторые новые данные изучения юрских отложений вообще и сланценосной толщи в частности. Ниже кратко суммируется полученная после 1981 г. новая информация.

Выездное заседание Комиссии Президиума АН СССР, 1983 г. 20–23 июня 1983 г. в Сыктывкаре и Ухте под председательством академика А. Е. Шейндлина прошло выездное заседание Комиссии Президиума АН СССР, посвященное *«эффективному использованию [горючих] сланцев в народном хозяйстве СССР»*. Заседание было совместным с представителями Коми филиала АН СССР, в числе которых присутствовали энергетики (которые и готовили это заседание), экономисты, химики, биологи и геологи (В. А. Молин, Н. П. Юшкин, Е. П. Калинин). Были приглашены представители производственной геологии из Воркуты, Ухты и Сыктывкара – А. И. Володазский, В. И. Яцук, И. Я. Зытнер, Ю. В. Жуков, В. А. Илларионов. Доклад «Ресурсы, качество и направления использования горючих сланцев Коми АССР» был поручен И. Я. Зытнеру – главному гидрогеологу Ухтинской ГРЭ. В заседании принимали участие представители руководящих партийных и государственных органов Коми АССР, а также приглашенные специалисты из организаций АН СССР, АН БССР, АН УССР, Минвуза РСФСР, Минэнерго СССР и Мингео РСФСР.

Как очевидно, заседание высокой Комиссии было создано в рамках мероприятий по развитию ТПК – Тимано-Печорского территориально-производственного комплекса, на долю которого приходилась 1/3 прогнозных энергетических ресурсов всей Европейской части СССР.

В решении Комиссии было аккуратно записано, что *«недостаток опыта использования и переработки сланцев и отсутствие технико-экономических проработок различных вариантов применения сланцев в народном хозяйстве Республики не позволяет сегодня высказать однозначные рекомендации по этому поводу»*. Исходя из этого, **Комиссия сочла, что изучение горючих сланцев с целью их комплексного использования (для нужд энергетики, химической промышленности и промышленности строительных материалов) – является «одной из важнейших задач, в решении которой должны принять участие специалисты в области геологии, химии, энергетики и экономики»**. С этой целью Комиссия сформулировала многочис-

ленные рекомендации и просьбы, адресованные Президиумам АН СССР и союзных республик (Эстонии, Белоруссии, Украины), союзным министерствам (Минэнергомашу, Миннефтехимпрому, Мингео, Минпромстройматериалов), Минвузу РФСР, институтам (например, Ин-ту геологии и геохимии горючих ископаемых УССР), а также УГРЭ объединения «Полярно-уралгеология» и даже Кохтла-Ярвесской партии Мингео ЭССР.

Насколько нам известно, ни одна из этих рекомендаций и просьб заметных последствий не имела.

Новации в стратиграфии юрских отложений. Как нам указал С. В. Льюров, после 1981 г. произошли изменения в расчленении юрских отложений. В 1986 г. постановлением МСК келловейский ярус был переведен из верхнего в средний отдел юрской системы (J_2k), что весьма осложнило геологическое картирование, поскольку ранее интервал морских «подсланцевых» юрских отложений датировался как J_2k -km. Было введено понятие *сысольская свита* (J_2ss), быстро завоевавшее общее признание. В настоящее время согласно Стратиграфическому кодексу геологи выделяют титонский ярус и «волжский» регионарус, который лишился своей верхней части (так называемых «верхневолжских» отложений).

В результате работ геологов из Ленинграда, бывшей Вычегодской партии (в Сыктывкаре) и стратиграфов Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН были получены новые результаты в стратиграфии юрских отложений сланценосных отложений Вычегодского бассейна, обобщенные в книге С. В. Льюрова [35].

Изучение «подсланцевой» песчаной толщи. В специальной монографии, посвященной песчаной кварцевой тоще сысольской свиты, всегда считавшейся среднеюрской, В. А. Молин и его соавторы на основе широкого обобщения всех имевшихся материалов пришли к выводу о том, что толщина является полигенетичной и разновозрастной: *«Если в Печорской синеклизе образование толщи происходило во временном интервале от раннеюрской до позднеюрской эпох, то в Московско-Мезенской синеклизе и Камско-Вятской впадине время формирования толщи охватило интервал от начала среднеюрской эпохи до среднекелловейской»* [23, с. 67].

Итогом обобщения минералогических данных стал важный вывод относительно петрофонда сысольской свиты: *«четко выявляется роль Тиманского сооружения (вместе с хребтом Канин Камень) как одного из источников черных рудных минералов, гранатов и ряда других минералов. Анализ самих минералов со всей очевидностью показал, что поступление их в бассейн седиментации происходило в результате разрушения и сноса пород, слагающих Тиманское сооружение»* [23, с. 42].

Как известно, чистые кварцевые пески сысольской свиты являются ценным стекольным и силикатным сырьем [20, 28]. Как отметил С. В. Льюров в

своей книге, *«вопросы использования среднеюрских кварцевых песков уже неоднократно ставились перед соответствующими инстанциями <...>, но до сих пор результатов нет»* [35, с. 128].

Кроме того, сысольская толща, как и ее стратиграфический аналог на Верхней Каме [39], содержит акцессорные минералы алмазного парагенезиса: высокохромистые хрошпинелиды, пироп, пикроильменит и перовскит [38], из которых специальному изучению подверглись две группы информативных минералов тяжелой фракции: гранаты и шпинели [16, 17]. Привлекла внимание исследователей и локально выявленная золотоносность сысольской свиты, хотя, по свидетельству С. В. Льюрова, кроме небольшого проявления Бездубово, других перспективных объектов пока не выявлено [18].

Перспективы использования агроруд. В 1987 г. коллектив сыктывкарских геологов под руководством Н. П. Юшкина опубликовал книгу, специально посвященную проблеме использования агрономических и горнохимических руд европейского Северо-Востока СССР, в которой, в частности, были рассмотрены и агроруды юрской сланценосной толщи [59]. Авторы пришли к выводу о том, что находки крупных залежей фосфоритов и одновременное нахождение продуктивных горизонтов фосфоритовых конкреции и горючих сланцев на территории республики маловероятны. Как правило, относительно перспективные участки фосфоритов и горючих сланцев не совпадают по локализации. Кроме того, в соседней Кировской области в 2000-х гг. обанкротилось градообразующее предприятие Верхнекамский фосфоритовый рудник, до этого успешно разрабатывавший нижнемеловые фосфориты еще с дореволюционных времен.

По мнению С. В. Льюрова, высказанному в указанной рецензии, *«перспективы разработок глауконитовых песков <...> практически нулевые»*. Также, по его мнению, *«наличие в разрезах сланценосных отложений мало-мощных прослоев и присыпок глауконита не дает повода для оптимизма»*.

Коллективная монография-1989. В 1989 г. Коми НЦ УрО РАН выпустило под редакцией В. А. Дедеева и Я. Э. Юдовича монографию большого коллектива авторов, включающего геологов производственного геологического Объединения Полярноуралгеология (Л. Ф. Васильева, В. М. Капитанов, А. М. Павлов), Института геологии Коми НЦ УрО РАН (В. А. Молин, В. А. Дедеев, С. В. Льюров, Л. А. Мельникова, Н. В. Конанова, Н. А. Колода, Н. С. Лавренко) и института ПечорНИИпроект (А. И. Птушко) — «Горючие сланцы Европейского Севера СССР». В этой книге был дан на тот момент наиболее полный анализ информации по геологии и вещественному составу сланценосной толщи обширного региона, включающего и территорию Республики Коми. Как отметили во «Введении» В. А. Дедеев и В. А. Молин, это обобщение было *«сделано с одной целью — показать,*

что имеющиеся ресурсы горючих сланцев, их технологическая характеристика, геологические позиции благоприятны для практического использования этого полезного ископаемого как комплексного сырья многоцелевого назначения» [12, с. 3].

В разделе «Направления промышленного использования горючих сланцев», составленном Л. Ф. Васильевой, Л. А. Мельниковой и А. И. Птушко, указаны три таких направления: энергетическое, энерготехнологическое и энергоклинкерное. Все эти направления, как мы видели, детально рассмотрены в нашем тексте—1981, однако несомненную ценность представляют данные технологических испытаний двух представительных проб сланцев, взятых из шурфов на Поингской площади Сысольского и на Чим-Лоптюгской площади Яренгского сланценосного бассейнов. Сланцы имели зольность 66.2 и 51.8 %, калорийность 2000 и 3030 ккал/кг и сернистость 3.4 и 4.2 %, при примерно одинаковой карбонатности (CO_2 7.7 и 8.5 %). Был получен выход смолы 7.6 и 7.9 %, газа 690 и 845 м³/т со значительной разницей теплоты сгорания: 360 и 580 ккал/м³. Генераторная зола Сысольского сланца в смеси с 16 % угля признана пригодной для получения аглопоритового щебня марки 800 с насыпной плотностью 775 кг/м³. Зола пригодна также для получения шлакоситаллов и обладает довольно высокой гидравлической активностью. Генераторная зола Яренгского сланца пригодна в качестве вяжущего компонента, но в этом отношении сильно уступает Сысольской (свободного СаО всего 0.9 %). Тем не менее, *«сырвая смесь из 50 % извести, 20 % сланцевой золы и 30 % тонкомолотого кварцевого песка является оптимальным составом для изготовления мелкозернистого автоклавного бетона с прочностью на сжатие до 22.2 МПа. Такой бетон может быть использован при малоэтажном строительстве» [12, с. 141].*

Изучение природы горючих сланцев. В 1986 г. ленинградские ученые-угольщики впервые выполнили стандартное углепетрографическое описание наших горючих сланцев, позволившее воссоздать облик первичной сланцеобразующей флоры [15].

С приходом в Институт геологии Д. А. Бушнева развернулось систематическое изучение органической геохимии как самих горючих сланцев, так и вмещающих их верхнеюрских отложений, ранее уже начатое в работах эстонских химиков — на материале сланцев Сысольского района [3, 4]. В работах Д. А. Бушнева, его учеников и сотрудников впервые было показано, что накопление органического вещества горючих сланцев происходило в условиях сероводородного заражения наддонных вод, причем оно могло распространяться и в низы фотической зоны, о чем свидетельствовало обнаружение алкилкаротиноида изорениератена — реликтового компонента фотосинтезирующих зеленых серных бактерий [8, 10]. Изучение серосодержащих компо-

нентов горючих сланцев позволило Д. А. Бушневу утверждать, что осернение и липидов и углеводов исходного органического вещества является очень важным (и ранее недооцененным) механизмом консервации в осадках органического вещества [9]. Позже эти результаты нашли своё подтверждение и на изотопном уровне исследований [11]. На основании комплекса геохимических исследований горючих сланцев была предложена схема химического строения керогена, которая отражает состав и способы сочленения его основных структурных фрагментов [6]. При этом экспериментальное моделирование дало возможность впервые доказать наличие в керогене юрских горючих сланцев полисеросвязанных *n*-алкильных фрагментов и установить надёжный геохимический признак их присутствия в структуре керогена [7].

В 2005 г., под впечатлением от защиты кандидатской диссертации Н. С. Бурдельной, одним из ее оппонентов была выдвинута «климатическая» идея генезиса юрских горючих сланцев — как следствия эпизодов гумидизации климата [57].

Геологическое доизучение Чим-Люптюгского месторождения. Как указано в *Предисловии-2012*, на Чим-Люптюгском месторождении в 2008—2010 гг. был выполнен значительный объем работ, позволивший получить много новой геологической информации. По результатам бурения удалось оконтурить площади распространения сланценосных отложений. На основании анализа геохимических данных, материалов каротажа и описаний разрезов по скважинам были предложены новые схемы корреляции сланценосных отложений. Вслед за В. М. Капитановым выполнено дробное деление промышленных пластов (в традициях геологоразведки — сверху вниз, **I, II, III**) на отдельные слои, обработка которых возможна селективным фрезерным методом; для таких слоев выполнен отдельный подсчет запасов. На площади Чим-Люптюгского месторождения удалось выделить 10 локальных участков, отличающихся по геологической изученности, условиям производства геологоразведочных работ, доступности, условиям залегания и качественным характеристикам горючих сланцев. На девяти из них сланцы уже можно добывать в карьерах, и только для одного требуется дополнительное доизучение. Д. О. Машинным, Н. С. Суворовой (Инкиной), И. А. Перовским, при активном содействии В. М. Капитанова, И. Ф. Любинской и С. В. Шаклеина была построена компьютерная трехмерная горно-геологическая модель месторождения.

При разведке понадобилось обоснование принятых кондиций. Горно-техническое, технологическое и экологическое обоснование кондиций было выполнено проектной организацией ООО «НТЦ-Геотехнология» (г. Челябинск). По мнению геологов Института геологии, **разработанные и утвержденные для участка Чим Центральный разведочные кондиции для под-**

счета запасов — можно использовать в качестве районных кондиций для других участков недр Яренгского сланценосного бассейна.

Несмотря на сжатые сроки (по условиям лицензионного соглашения на разведку отводилось всего два года) удалось выполнить значительный объем технических анализов и сопутствующих им — геохимических, минералогических и технологических исследований. По свидетельству И. Н. Бурцева, в Ин-те геологии в составе ЦКП (Центра коллективного пользования) «Геонаука» был создан и впоследствии получил государственную аккредитацию в системе ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 одноименный **Испытательный центр № РОСС RU.0001.22AB47**. Это один из трех центров в России, в аккредитации которых содержатся слова «горючие сланцы». В 2012 г. этот Испытательный центр прошел государственный инспекционный контроль, подтвердивший его компетентность. **Таким образом, в Ин-те геологии создана единственная на европейском севере России аналитико-технологическая группа, изучающая горючие сланцы.** Из числа перспективных разработок следует упомянуть предложенную С. Т. Неверовым рентгенофлюоресцентную методику определения серы в горючих сланцах и сопровождающих породах. Для этой цели используются государственные стандартные образцы, разработанные во ВНИИМ (С.-Петербург).

Изучение вмещающих горючие сланцы пород и пород вскрыши, проведенное как в Ин-те геологии, так и в ФГУП ЦНИИГеолнеруд (г. Казань) показало, что можно получать керамику с хорошими характеристиками.

Разница радиоактивности горючих сланцев и вмещающих пород могла бы использоваться для крупнокусковой радиометрической сепарации сланцев. Эта идея, выдвинутая И. Н. Бурцевым, прошла практическую проверку на промышленном оборудовании в Тестовом центре компании Commodas Mining GmbH в г. Ведель, ФРГ и оказалась вполне валидной.

Наконец, в Институте геологии и в Топливной лаборатории Вирумааского колледжа Таллинского технического университета были проведены опыты совместной термической переработки шихты горючих сланцев и зольных бурых углей Неченского месторождения Печорского бассейна. Эти опыты дали обнадеживающий результат, что открывает возможность утилизации некондиционных низкокалорийных сланцев, к которым на Чим-Люптюгском месторождении относится значительная часть II пласта.

Изучение литологии сланценосной толщи. В результате обработки kernового материала, полученного при детальной разведке в 2008–2010 гг. на лицензионном участке «Чим Центральный», геологами Института геологии впервые был полуколичественно определен состав глинистых минералов сланценосной толщи [47]: иллит, смешанослойные образования, смектит, каолинит и хлорит обычно с доминированием первых двух, что позволило выде-

лить две группы преобладающих ассоциаций: иллитовую (четыре ассоциации) и смектитовую (три ассоциации). На основании присутствия каолинита, иногда в значительных количествах (более 30%) в морских юрских отложениях авторы смогли предположить, что область сноса располагалась в гумидной климатической зоне, что, как видим, вполне согласуется с нашей концепцией генезиса юрских горючих сланцев [57].

В составе сланценосной толщи была выделена глинистая пестроцветная пачка мощностью 1.0–2.5 м с многочисленными остатками радиолярий прекрасной сохранности, полости которых выполнены цеолитом, определенным как клиноптилолит. При этом «четкое тяготение цеолитов к раковинкам радиолярий прослеживается по всему разрезу — и за пределами пестроцветной пачки. Обычно цеолиты образуют скрытокристаллический агрегат, но встречаются кристаллы таблитчатой и удлиненно-таблитчатой формы <...>» [46, с. 113]. Одним из новых результатов В. А. Салдина стало доказательство приуроченности геохимических аномалий никеля к подсланцевым оксфорд-кимерджским отложениям, — а именно, к присутствующим здесь обильным сульфидам.

Благодарности

При подготовке этой рукописи к печати неоценимую помощь оказал И. Н. Бурцев, снабдившей автора неопубликованной служебной информацией об истории и результатах геологического доизучения Чим-Лоптюгского месторождения в 2008–2010 гг. Рецензенты С. В. Льюров, Д. А. Бушнев и В. Н. Салдин познакомили автора со своими новыми результатами по вещественному составу горючих сланцев и сопровождающих их пород. Аспирант Г. В. Игнатьев оказал техническую поддержку при трансформации старого машинописного текста в компьютерный файл.

Сердечно благодарю всех указанных геологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барцевский М. М., Безмозгин Э. С., Шапиро Р. Н.* Справочник по переработке горючих сланцев. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 171 с.
2. *Белянин Ю. И., Каминский В. С., Проскуряков В. А.* Получение малозольного керогена из горючих сланцев // Разработка и использование запасов горючих сланцев. Таллин: Валгус, 1970.
3. *Бондарь Е. Б.* Исследование горючих сланцев Сысольского месторождения Коми АССР. 1. Общая характеристика сланцев // Горючие сланцы, 1985. Т.2, № 3. С. 246–253.
4. *Бондарь Е. Б., Куузик М. Г.* Исследование горючих сланцев Сысольского месторождения Коми АССР. 2. Состав битумоидов // Горючие сланцы, 1986. Т. 3, № 1. С. 13–23.
5. *Бугрим С. Ф.* Стеновые панели из керамзитогазобетона. – Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1966.
6. *Бурдельная Н. С., Бушнев Д. А.* Фрагмент химической структуры II и II-S типов керогена верхнеюрских и верхнедевонских отложений Восточно-Европейской платформы // Геохимия, 2010. № 5. С. 525–537.
7. *Бушнев Д. А.* Алкилированные 2,2'-битиофены и 2-фенилтиофены в составе продуктов пиролиза высокосернистого керогена // Нефтехимия, 2007. Т. 47, №3. С. 184–192.
8. *Бушнев Д. А.* Основы геохимической интерпретации данных по составу и распределению индивидуальных органических соединений в нефтях и осадочных породах. Сыктывкар: Геопринт, 1999. 48 с.
9. *Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С.* Геохимическое значение сероорганических компонентов битумоида и керогена // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа: К созданию общей теории нефтегазоносности недр. М., 2002. С. 89–91.
10. *Бушнев Д. А., Лыгоров С. В.* Органическая геохимия юрских отложений Сысольского сланценосного района (Республика Коми) // Геохимия, 2002. № 2. С. 220–227.
11. *Бушнев Д. А., Смолева И. В.* Изотопы углерода органического вещества позднеюрских горючих сланцев Волго-Печорской сланцевой провинции и механизмы его накопления // ДАН, 2011. Т. 441, №2. С. 227–229.
12. *Васильева Л. Ф., Дедеев В. А., Дурягина Л. А., Капитанов В. М., Колода Н. А., Конанова Л. В., Лавренко Н. С., Лыгоров С. В., Мельникова Л. А., Молин В. А., Павлов А. М., Птушко А. И.* Горючие сланцы Европейского Севера СССР. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1989. 152 с.
13. *Вейгель П. Р.* Производство сборных железобетонных конструкций из сланцезольного портландцемента // Тр. науч.-тех. конф. «Изучение и применение сланцезольных цементов». Таллин, 1971. С. 97–98.
14. *Вольфсон Г. В.* Экономическая целесообразность развития добычи горючих сланцев в СССР // Разработка и использование запасов горючих слан-

цев. Таллин: Валгус, 1970. С. 156–157. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.—4 сент. 1968 г.).

15. Гинзбург А. И., Гаврилова О. И., Летушова И. А. Петрография горючих сланцев европейского Севера СССР и химическая характеристика керогена // Горючие сланцы. 1986. Т. 3. № 4. С. 357–364.

16. Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Филиппов В. Н., Исаенко С. И., Варламов Д. А. Акцессорные минералы Сысольской площади. Гранаты // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XV Геол. съезда Респ. Коми. Сыктывкар, 2009, Т. 2. С. 362–368.

17. Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Филиппов В. Н., Исаенко С. И., Варламов Д. А. Акцессорные минералы Сысольской площади. Шпинели // Там же. С. 368–375.

18. Глухов Ю. В., Филиппов В. Н., Исаенко С. И. и др. Феномен рудного золота контейнерного типа как золота дальней транспортировки // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2006. С. 168–172.

19. Голдин Б. А., Фишман М. В., Давыдов В. П. Рутил в юрских песках бассейна р. Сысола. — Фонды Коми фил. АН СССР, 1965. 7 с.

20. Голдин Б. А., Фишман М. В., Лежнев Ю. П. Перспективы комплексного использования юрских песков юга Коми АССР. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1990. 12 с. (Сер. препринтов докл. «Научные рекомендации — народному хозяйству. Вып. 87).

21. Гольдштейн Л. Я., Штейерт Н. П. Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента. Л.: Стройиздат, 1977. 152 с.

22. Дедеев В. А., Анисимов Ю. А., Васильева Л. Ф., Капитанов В. М., Кропотова В. А., Молин В. А., Павлов А. М., Юдович Я. Э. Прогноз сланцевости Европейского Севера СССР. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1981. 36 с. (Сер. препринтов сообщений «Научные рекомендации — народному хозяйству». Вып. 29).

23. Дедеев В. А., Молин В. А., Розанов В. И. Юрская песчаная толща европейского севера России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1997. 80 с.

24. Диннен Д. Ю. Состав горючих сланцев Грин-Ривер // Разработка и использование запасов горючих сланцев. — Таллин: Валгус, 1970. С. 172–183. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.—4 сент. 1968 г.).

25. Жаров Е. Ф. Влияние золы и ПАВ на свойства золоцемента // Цемент, 1979. № 11. С. 16–17.

26. Зытнер И. Я., Зинченко В. А. Ресурсы горючих сланцев Коми АССР // Литология и рудогенез осадочных толщ Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1982. С. 46–51. (Тр. IX геол. конф. Коми АССР. Кн. 3).

27. Иванов И. А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. М.: Стройиздат, 1972. 127 с.

28. Калинин Э. П. О минералогическом составе среднеюрских песков юго-западного Притиманья как поисковом критерии для выявления месторождений стекольных песков // *Материалы по геологии и полезным ископаемым северо-востока европейской части СССР*. Сб. 8. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1976. С. 371–374.

29. Камерон Р. Дж. [Выступление в дискуссии] // *Разработка и использование запасов горючих сланцев*. Таллин: Валгус, 1970. С. 575–576. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.—4 сент. 1968 г.).

30. Каминский В. С. [Выступление в дискуссии] // Там же. С. 223–224.

31. Клер В. Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. М.: Недра, 1979. 272 с.

32. Кондрашова М. Н. Выясненные и наметившиеся вопросы на пути исследования регуляции физиологического состояния янтарной кислоты // *Терапевтическое действие янтарной кислоты*. Пушино: Институт биофизики, 1976. С. 8–30.

33. Котов А. М., Волков Т. М., Ицксон Б. С. Состояние и перспективы развития сланцедобывающей промышленности СССР // *Разработка и использование запасов горючих сланцев*. Таллин: Валгус, 1970, с. 231–235. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.—4 сент. 1968 г.).

34. Кочурин Н. Н. Тимано-Печорский комплекс. Проблемы строительства. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1979. 167 с.

35. Лыгоров С. В. Юрские отложения севера Русской плиты — Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 139 с.

36. Маковский Ю. А. Методы обогащения горючих сланцев // *Разработка и использование запасов горючих сланцев*. Таллин: Валгус, 1970. С. 142–149. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.—4 сент. 1968 г.).

37. Марфин М. Горючие сланцы // *Химия и жизнь*, 1981. № 3. С. 7–11.

38. Митяков С. Н., Беляев А. А., Канев Г. П., Молин В. А., Шишкин М. А. Литолого-минералогическая характеристика пограничных отложений триаса и юры южных районов Республики Коми в связи с их возможной алмазонасностью // *Алмазы и алмазонасность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания*. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 127–129.

39. Морозов Г. Г., Осовецкий Б. М., Накарякова И. Р., Рыбальченко А. Я., Курбацкая Ф. А., Казымов К. П., Илалдинов И. Я., Шафрановский Г. И. К проблеме алмазонасности юрских отложений бассейна верхней Камы // *Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания*. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 108–110.

40. Небольсин А. Н. Известкование — средство коренного улучшения кислых почв. Л.: Лениздат, 1979. 134 с.

41. Низова А. А. Глинование в сочетании с известью — эффективный метод повышения продуктивности песчаных почв // *Вестник Ленингр. ун-та*, 1967. № 15. Биология. Вып. 3. С. 150–156.

42. *Новопашии А. А.* Минеральная часть поволжских сланцев. Теоретические основы формирования строительных материалов и опыт применения их в строительстве. Куйбышев: Книгоиздат, 1973. 120 с.

43. *Пейве Я. В.* Избранные труды. Агрохимия и биохимия микроэлементов. М.: Наука, 1980. 430 с.

44. *Плисов А. А., Сапрыкин Ф. Я., Хантулев А. А., Кулачкова А. Ф., Туев Н. А.* О зависимости состава и структуры почв от физико-химических особенностей материнских пород // Роль литолого-стратиграфических, структурных и палеогеографических факторов в формировании месторождений полезных ископаемых на Северо-Западе РСФСР. М.: Геолфонд СССР, 1978. С. 106–112.

45. *Прии Ч. Х.* Обзор исследований горючих сланцев за последние три десятилетия // Горючие сланцы. Л.: Недра, 1980. С. 210–235.

46. *Салдин В. А., Бурцев И. Н., Симакова Ю. С., Филиппов В. Н.* Цеолиты в верхнеюрских породах Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев (Яренский сланценосный район) // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: Материалы Российского совещания с междунар. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 112–116.

47. *Салдин В. А., Симакова Ю. С., Бурцев И. Н.* Глинистые минералы верхнеюрских пород Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев (Вычегодский сланценосный район) // Минеральные индикаторы литогенеза: Материалы Российского совещания с междунар. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 196–198.

48. *Сакович Н. Л.* Известкование подзолистых почв в Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1956. 34 с.

49. *Сапрыкин Ф. Я., Смыслов А. А., Рудник В. Л. и др.* Почвенно-геохимические карты – основа планирования агрогеохимического преобразования почв // Вестник с.-х. науки, 1980, № 12. С. 44–50.

50. *Сиротин Н. П.* Фосфоритная мука и ее применение. М.: Сельхозгиз, 1962. 86 с.

51. *Сухов Ю. В.* К вопросу об эффективности использования вяжущих из сланцевой золы Сызранской ТЭЦ // Тр. науч.-тех. конф. «Изучение и применение сланцевольных цементов». Таллин, 1971. с. 113–116.

52. *Тягунов Б. И., Гальинкер И. С., Губергриц М. Я. и др.* Энерготехнологическое использование прибалтийских сланцев // Разработка и использование запасов горючих сланцев. Таллин: Валгус, 1970. С. 394–400. (Тр. I Симпоз. ООН... Таллин: 26 авг.–4 сент. 1968 г.).

53. *Фомина А. С.* [Выступление в дискуссии] // Там же. С. 220–222.

54. *Фомина А. С., Вески Р. Э., Дегтярева З. А. и др.* Получение насыщенных дикарбоновых кислот и стимулятора роста растений окислением керогена кукурсита кислородом воздуха // Там же. С. 215–219.

55. *Хендрикс Д. У., Уорд Дж. К.* Возможное воздействие сланцевой про-

мышленности на окружающую среду района Верхнего Колорадо // Горючие сланцы. Л.: Недра, 1980. С. 198–209.

56. Чебыкина Н. В. Как известковать кислые почвы. – Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1954. 19 с.

57. Юдович Я. Э. Генезис юрских горючих сланцев: концепция, развитая в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. № 6. С. 22.

58. Юровский А. З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1968. 215 с.

59. Юшкин Н. П., Илларионов В. А., Василевский Н. Д. и др. Агроминеральное и горно-химическое сырье европейского северо-востока СССР. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1987. 132 с.

60. Якобсон А. Р., Богун Г. А. Известкование кислых почв пылевидными материалами в Эстонской ССР. М.: ЦНИИТЭИ, 1970. 183 с.

Содержание

Предисловие-2012	3
ВВЕДЕНИЕ	8
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В СССР.	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	9
2.1. Использование сланцев без обогащения	10
2.2. Использование сланцевых концентратов	10
2.3. Термическая переработка сланцев	11
2.3.1. Переработка в газогенераторах	11
2.3.2. Переработка в камерных печах	11
2.3.3. Энерготехнологическая переработка в УТТ	12
2.4. Энергетическое использование сланцев	12
2.5. Химическая переработка сланцев	14
3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ	16
4. ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ КОМИ АССР И ИХ ОСВОЕНИЕ	19
4.1. Три сланценосных бассейна Коми АССР	19
4.2. Сравнительные данные о качестве наших сланцев	22
4.3. Нужно ли осваивать наши сланцы?	27
5. ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ	32
5.1. Использование золы сланцев в качестве вяжущего	32
5.1.1. Непосредственное использование золы в строительных растворах и бетонах	37
5.1.2. Использование зол и шлаков в качестве сырьевого компонента цемента	39
5.1.3. Получение золопортландцементов	41
5.1.4. Получение известково-зольных цементов	43
5.1.5. Использование золы в производстве бетонов	44
5.1.6. Добавка золы к гипсовым деталям	46
5.1.7. Производство силикатного кирпича	46
5.2. Использование зол, шлаков и отходов сланцедобычи для производства заполнителей легких бетонов и асфальтобетонов	47

5.2.1. Непосредственное использование золы или шлака	47
5.2.2. Производство аглопорита и зольного гравия	49
5.2.3. Производство каменного литья и минеральной ваты	51
5.3. Использование золы сланцев в качестве удобрения	52
5.3.1. Известкование кислых почв	52
5.3.2. Микроэлементное удобрение	55
6. ПОПУТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД СЛАНЦЕНОСНОГО РАЗРЕЗА	59
6.1. Агроруды	59
6.2. Стройматериалы	61
6.3. Другие полезные ископаемые	62
7. ПРОБЛЕМЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ	63
7.1. Ограниченность прямых аналогий	63
7.2. Новые идеи в планировании сланцедобычи и переработки	64
7.3. Перспективные направления научных исследований	66
7.3.1. Рациональное размещение промышленных объектов	66
7.3.2. Изучение технологического предела сланцев	67
7.3.3. Изучение обогатимости сланцев	67
7.3.4. Изучение агрономических свойств золы сланцев и пород сланценосной толщи	68
7.3.5. Изучение свойств золы сланцев как вяжущего	68
7.3.6. Изучение минеральной части сланцев и пород сланценосного разреза как сырья для стройиндустрии	69
7.3.7. Создание химико-аналитической базы	70
7.3.8. Координация научных исследований	71
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
Послесловие-2012	76
Благодарности	82
Литература	83

Научное издание

Горючие сланцы Республики Коми
Проблемы освоения

Утверждено к печати Ученым советом
Института геологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

Сборник подготовлен
информационно-издательским отделом
Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Компьютерная верстка *Г. Н. Каблиса*

Подписано к печати 6.03.2013
Формат 60×90¹/₁₆. Гарнитура Newton. Печать Riso
Усл. печ. л. 5,8. Уч. изд. л. 6
Тираж 100 экз. Тип. заказ № 896

Издательство “Геопринт”
167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54