

# ГЕОЛОГИЯ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.337.2.(470.44)

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКВАЖИННОЙ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ КАУСТОБИОЛИТОВ (ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЛИЗПОВЕРХНОСТНОЙ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ НА КОЦЕБИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА**

В.С. Илясов<sup>1</sup>, В.Н. Илясов<sup>2</sup>, В.Н. Староверов<sup>3</sup>

1 - ООО «НьюТек Сервисез», г. Москва

2 - ООО «Перелюбская горная компания», г. Саратов

3 - АО «Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики», г. Саратов

DOI:10.24411/1997-8316-2020-11022

*Аннотация:* статья посвящена инновационной скважинной технологии для разработки горючих сланцев Коцебинского месторождения, залегающих на глубине от 30 до 50 метров и выдержанных на большой площади. Дана краткая стратиграфическая и тектоническая характеристика объекта, детально рассмотрена сланценоность, а также выделены наиболее перспективные объекты и зоны для будущей разработки. Описан процесс технологии добычи горючего сланца и добывающая установка.

*Ключевые слова:* горючие сланцы, Волжский бассейн, Коцебинское месторождение, инновационная скважинная добыча, добывающая установка.

В.С. Илясов E-mail: vilyasov@nt-serv.com

## **INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR BOREHOLE PRODUCTION OF SOLID CAUSTOBIOLITHS (OIL SHALE) TO PRODUCE NEAR-SURFACE SHALE OIL AT THE KOTSEBINSKOYE FIELD IN THE VOLGA BASIN**

V.S. Ilyasov<sup>1</sup>, V.N. Ilyasov<sup>2</sup>, V.N. Staroverov<sup>3</sup>

1 - «NewTech Services» LLC, Moscow

2 - «Perelyubskaya Mining Company» LLC, Saratov

3 - JSC «Lower Volga Research Institute of Geology and Geophysics», Saratov

*Abstract:* this article is devoted to new well technology which provide development of oil shale in Kotsebinskoe field. This oil shales occur at shallow depth and wide spread. Short stratigraphy and tectonic characteristic of this object have been described. Also cross cuttings of Kotsebinskoe field has been analyzed. Most perspective object has been selected. The process of development of oil shale and rig has been described.

*Key words:* oil shales; Volzhskii basin; Kotsebinskoe filed; new well technology, rig.

## ВВЕДЕНИЕ

Успехи в добыче сланцевого газа и нефти в Америке возродили общественный и научный интерес к толщам, обогащенным ОВ, как источникам сланцевой нефти. Согласно Холодову В. Н., к горючим сланцам относятся тонкослоистые и тонкозернистые породы, содержащие не менее 20% тугоплавкого органического вещества, которое может быть переработано в жидкое и газообразное топливо [23]. В нашей стране изучение и добыча нефти из подобных отложений насчитывает многолетний опыт. В первую очередь они связаны с горючими сланцами Восточно-Европейской платформы (Прибалтийский сланцевый бассейн, Тимано-Печорский бассейн, Кашпирское, Ундорское и другие месторождения в Волжском регионе) [12]. Разработка месторождений, которая ведется с начала XX века, в основном осуществлялась при помощи шахт. В настоящее время добыча горючего сланца с помощью шахты продолжается на Кашпир-Хвалыньском месторождении, однако многие производственные объекты были закрыты по причине нерентабельности. На сегодняшний день основной фокус переместился к освоению и разработке

баженовской свиты в Западной Сибири, а также доманиковых отложений Волго-Уральского бассейна. Несмотря на это, согласно публикациям различных авторов, добыча нефти из баженовской свиты ежегодно составляет около 800 тыс. тонн, а средний дебит нефтяных скважин колеблется в районе 3–6 тонн/сутки, при условии, что многие скважины вообще не вводятся в эксплуатацию [15]. Волжские горючие сланцы по своему качеству не уступают аналогам баженовской свиты и даже превосходят доманиковый горизонт (таблица 1) [1, 8, 10, 22]. Однако в связи с незначительной глубиной залегания, 20–60 метров, выдержанными тонкими продуктивными пластами и низкой степенью катагенетической преобразованности ОВ (органического вещества) подход к разработке верхнеюрских волжских горючих сланцев должен быть иным, нежели классические варианты использования ГРП, СКО и других технологий, применяемых при разработке баженовской толщи и доманикового горизонта. В данной статье описывается одна из возможных технологий разработки верхнеюрских волжских горючих сланцев на примере Коцебинского месторождения.

Таблица 1  
Основные геохимические параметры (Rock Eval 6)  
перспективных объектов нетрадиционных УВ в РФ

Основные геохимические показатели	Горючие сланцы Волжского бассейна [8]	Доманиковая толща [22]	Баженовская свита [1]
$C_{орг}, \%$	6–26	5–12,5	5–28
$S_1, \text{мг/г}$ (свободные УВ, до 300 °С)	0,08–0,12	6	3–9
$S_2, \text{мг/г}$ (УВ-продукты пиролиза керогена и смолисто-асфальтеновых веществ, 300–650 °С)	23–194	24–85	42–187
HI, мг/г (водородный индекс)	397–1000	570–590	537–889

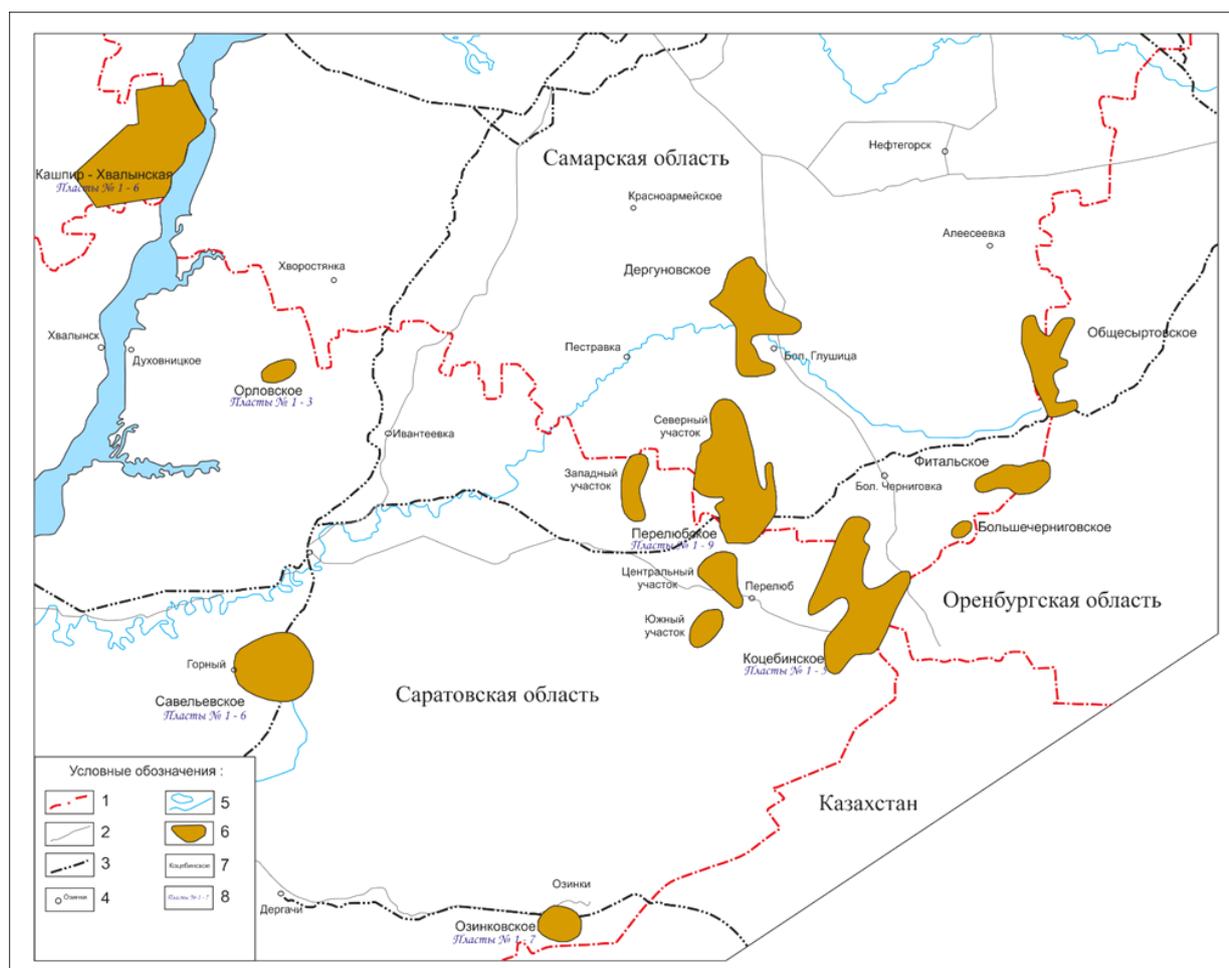
## КРАТКАЯ ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЦЕБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Волжский сланценосный бассейн расположен в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы в пределах Волго-Камской антеклизы и прибортовой зоны Прикаспийской синеклизы. Всего в Волжском сланценосном бассейне на территории Саратовской области выделяется шесть месторождений горючих сланцев (рис. 1).

Все месторождения представлены эрозионными останцами, образовавшимися

в результате мощного преакчагыльского размыва. В качестве исключения выделяется Кашпир-Хвалынская площадь, где перекрывающие меловые и палеогеновые отложения защитили продуктивную толщу от размыва [2, 3].

В тектоническом отношении Коцебинское месторождение расположено в пределах юго-западной части Бузулукской впадины, являющейся структурой второго порядка. Коцебинское и Перелюбское месторождения, согласно проведенным поисково-оценочным работам ПГО «Нижеволжскгеология», приурочены к Перелюб-Благодатовской площади. На Коцебинском месторождении пласты продуктивной толщи залегают моноклинали-



**Рис. 1. Обзорная карта месторождений горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна; масштаб 1 : 5000000.**

Условные обозначения: 1 – административные границы; 2 – автомобильные дороги; 3 – железные дороги; 4 – населенные пункты; 5 – гидросеть; 6 – месторождения; 7 – название месторождения; 8 – количество продуктивных пластов

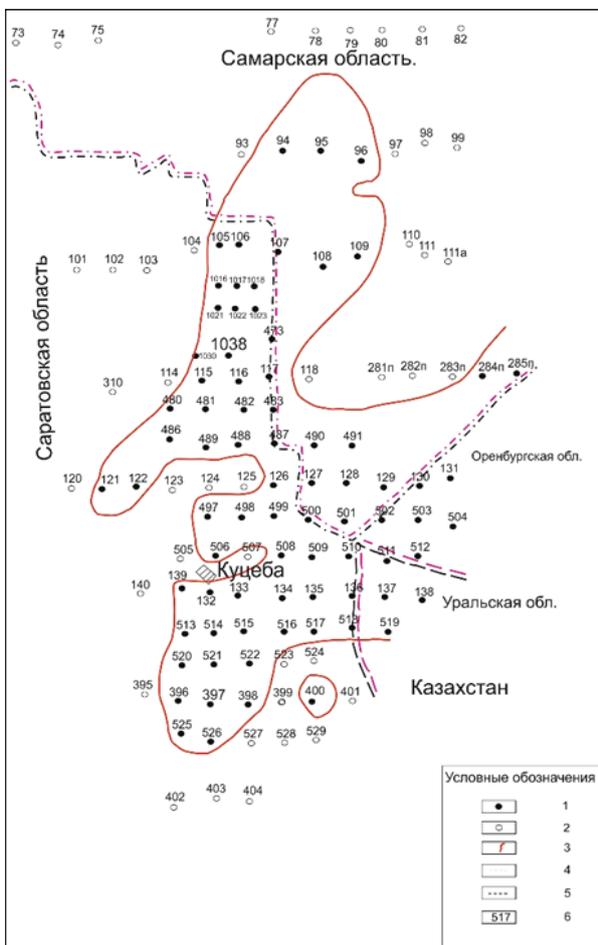
но, градиент угла падения составляет около 1 градуса на 1 км или 2–4 м на 1 км. В целом данный градиент сохраняется во всех продуктивных пластах горючих сланцев. Направление падения сланценовой толщи с северо-востока на юго-запад. В период проведения поисково-оценочного этапа на Коцебинском месторождении пробурено более 50 скважин (рис. 2) [24]. В результате выполненных работ выделен контур месторождения, однако восточная граница так и не была точно определена, так как самые восточные скважины (131, 138, 285п, 504,

512, 519) не полностью вскрыли продуктивную толщу. Дальнейшие исследования могут привести к значительному приращению запасов.

В стратиграфическом разрезе территории исследования (Перелюб-Благодатовская площадь) выделяются породы различного возраста, начиная с позднепермского, а именно с татарского яруса, венчающего разрез палеозоя, и заканчивая комплексом отложений четвертичной системы. Сланценовая толща Волжского бассейна принадлежит средне-волжскому подъярису верхней юры и, как это подтверждено палеонтологическими данными Хабаровой в 1985 г., полностью отвечает зоне *Dorsoplanites panderi* [2, 3]. Сланценовая толща не имеет повсеместного распространения. Наиболее детально изучены верхнеюрские отложения, включающие в себя зоны *Dorsoplanites panderi* и *Virgatitus virgatus*. Разрез *Dorsoplanites panderi* сложен различными литотипами, среди которых наибольшее распространение и значение имеют фосфоритовый горизонт, глины известковые кокколитовые, глины сапропелевые, горючие сланцы «бедные», горючие сланцы «богатые» коллоальгинитовые известковисто-глинистые и горючие сланцы «богатые» коллоальгинитовые известковистые [7, 9].

### СЛАНЦЕНОСТЬ КОЦЕБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В пределах Коцебинского месторождения мощность пандериевой зоны весьма невелика и составляет в среднем 27 м, достигая на юге 33 м [23, 24]. Пласты горючих сланцев зачастую сближены, что дает возможность говорить о пластах сложного строения. Всего на Коцебинском месторождении выделяется до 10 пачек горючих сланцев, которые группируются в шесть пластов, однако шестой



**Рис. 2. Обзорная карта Коцебинского месторождения; масштаб 1 : 200000;**

Условные обозначения: 1 – скважины, вскрывшие продуктивную толщу; 2 – скважины, не вскрывшие продуктивную толщу; 3 – границы Коцебинского месторождения; 4 – административные границы Самарской и Оренбургской областей; 5 – административные границы Саратовской области; 6 – номера скважин

пласт горючих сланцев отмечается лишь в единичных скважинах (рис. 3) [23].

Начинается разрез пандериевой зоны толщей черных сапропелевых глин, в редких случаях содержащих невыдержанные и мало-

мощные прослои зеленовато-серых горючих сланцев. Мощность этих глин в среднем по месторождению составляет 6,0 м.

Ниже этих глин отмечаются желтовато-коричневые и светло-коричневые легкие

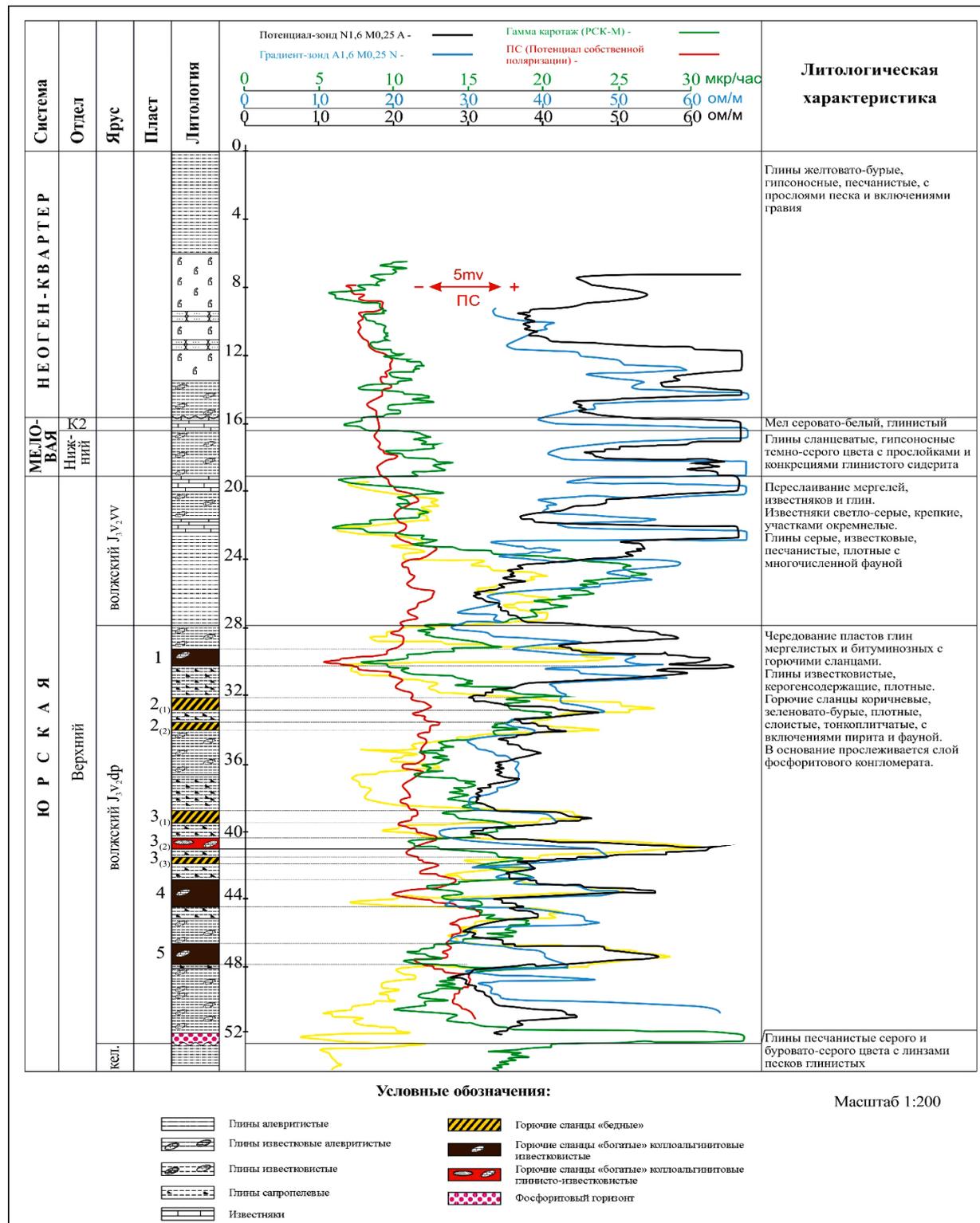


Рис. 3. Сводный геолого-геофизический разрез Коцебинского месторождения

известковистые горючие сланцы первого пласта, которые макроскопически являются полным аналогом горючих сланцев первого пласта Перелюбского месторождения. Пласт выдержан по строению, мощности, качеству сланцев и представляет большой практический интерес. Мощность пласта колеблется от 0,7 до 1,2 м и в среднем по месторождению составляет 0,94 м.

Горючие сланцы первого пласта отделяются от сланцев второго пласта серыми и светло-серыми известковыми глинами, в которых отмечаются маломощные прослои известняка. Мощность разделяющих глин колеблется от 1,6 до 4 м при средней мощности 2,3 м.

Второй пласт на Коцебинском месторождении, так же как и на Перелюбском, имеет сложное строение. В нем выделяются две пачки горючих сланцев мощностью 0,4–0,8 м каждая. Они разделены прослоем темно-серой сапропелевой глины мощностью 0,4–0,7 м. Общая мощность второго пласта составляет в среднем 1,7 м при колебаниях от 1,2 до 2,2 м, в том числе средняя мощность сланцевых пачек равна 1,14 м. Сланцы серые и коричневатые-серые, плотные, горизонтально слоистые с многочисленными отпечатками фауны. Отмечается некоторое увеличение мощности второго пласта с севера на юг.

Нижележащий третий пласт горючих сланцев отделяется от сланцев второго пласта светло-серыми известковистыми глинами мощностью от 2,7 м до 5,5 м при средней мощности 3,9 м.

Третий пласт горючих сланцев имеет сложное строение. В нем отмечается четыре пачки сланцев, разделенных темно-серыми сапропелевыми глинами. Мощность сланцевых пачек колеблется от 0,1 до 1,1 м, а разделяющих глин от 0,2 до 1,1 м. Общая мощность третьего пласта составляет в среднем 4,5 м при колебании от 4,5 до 6,1 м, в том числе

средняя мощность чистых сланцевых пачек равняется 2,6 м, отмечается увеличение мощности третьего пласта в центральной и южной частях Коцебинского месторождения. В восточном же направлении происходит постепенное уменьшение мощности пласта до 2,5 м, прослеживается четкая закономерность в изменении строения третьего пласта: вместо трех сланцевых пачек отмечаются две верхние пачки.

Горючие сланцы третьего пласта имеют окраску от светло-серой до коричневатой-серой, они горизонтально слоистые с обилием отпечатков фауны и со стяжениями пирита. Основные запасы горючих сланцев сосредоточены именно в третьем пласте.

Горючие сланцы четвертого пласта отделены от сланцев третьего пласта темно-серыми сапропелевыми глинами, мощность которых на севере месторождения достигает 5,5–6,0 м, а на юге равна 8 м.

Этот пласт имеет простое строение. Мощность его колеблется от 0,5 до 0,8 м на севере и на юге, 2,0–2,8 м в центральной его части. Средняя мощность четвертого пласта составляет 1,5 м. Как уже отмечалось, в направлении с севера на юг происходит закономерное уменьшение мощности сапропелевых глин, разделяющих третий и четвертые пласты горючих сланцев.

Горючие сланцы пятого пласта отделяются от сланцев последующего пласта темно-серыми сапропелевыми глинами, мощность которых колеблется от 0,6 до 3,3 м и составляет в среднем по месторождению 1,7 м. Пласт обладает простым строением. Его мощность варьирует от 0,4 до 2,6 м, но, как правило, составляет 1,0–2,0 м. Средняя мощность пятого пласта равна 1,5 м.

Ниже пятого пласта единичными скважинами, преимущественно на юге Коцебинского месторождения, вскрыты горючие сланцы

шестого пласта, которые хоть и отличаются неплохими качественными показателями, но не имеют широкого площадного распространения, а мощность их колеблется от 0,1 до 0,7 м при среднем значении 0,4 м. Горючие сланцы шестого пласта не представляют промышленного интереса.

Глубина залегания первого пласта на Коцебинском месторождении колеблется от 8,8 (небольшие глубины приурочены к выходам коренных пород на дневную поверхность) до 67,7 м. Это объясняется как разностью в гипсометрии устьев скважин, так и устойчивой тенденцией к погружению сланцевой толщи с севера на юг.

Ниже приводится подробная вещественная характеристика продуктивных пластов горючих сланцев Коцебинского месторождения, сделанная на основании авторского изучения керн данного месторождения (скважины № 107, № 133, № 1038), а также результатов предыдущих исследований [2, 3, 4, 6, 7].

Первый пласт: горючий сланец в верхней части бурый, низкокалорийный (15 см), ниже — светло-коричневый, высококалорийный (ОВ 33–54%), альгинитовый, неравномерно карбонатизированный, линзовидно-слоистый с чередованием горизонтальных, пологоволнистых и косослоистых серий, со следами оползания; по напластованию — с редкими крупными остатками моллюсков — аммонитов и др. Зольность варьирует от 37,6 до 71%. Теплота сгорания до 4340 ккал/кг. Содержание серы 2,5–7,9%. Выход жидких углеводородов 8,3–23,7%.

Второй пласт представлен двумя пачками. Горючий сланец темно-серый с коричневатым оттенком, низкокалорийный (ОВ 15–28%), альгинито-сапро-коллинитовый, слабоизвестковистый с многочисленными кокколитами средней сохранности, линзами декарбонатизированный ( $\text{CaCO}_3$  1–3%). В нижней части

сланец становится высококалорийным, содержание ОВ достигает 34%. Наблюдается прослой темно-серой сапропелевой глины (ОВ 7–12%) известковистой тонкослоистой, мощность прослоя 0,4 м. В горючем сланце и глине определены многочисленные отпечатки аммонитов, двустворчатых моллюсков, брахиопод. Зольность варьирует от 51,5 до 69,9%. Теплота сгорания 1849–3001 ккал/кг. Содержание серы 1,9–4,6%. Выход жидких углеводородов 5,8–13,7%.

Третий пласт состоит из четырех пачек: горючий сланец серо-коричневый высококалорийный, альгинитовый, прослоями сапро-коллинитовый, низкокалорийный, серый, известковый с крупными кокколитами хорошей сохранности. Содержание ОВ в горючем сланце изменяется от 35 до 40%. Отмечаются ходы илоедов, выполненные глинистым материалом. Наблюдаются прослои горючего сланца темно-серого низкокалорийного (ОВ 20–22%), слоистого с плитчатой отдельностью. На плоскостях напластования выделяются обильные органические остатки. Зольность варьируется от 50 до 74%. Теплота сгорания 1494–6600 ккал/кг. Содержание серы 3,0–10%. Выход жидких углеводородов 5,0–39,0%.

Четвертый пласт представлен двумя пачками. Первая пачка: горючий сланец серый с едва заметным коричневатым оттенком, высококалорийный (ОВ 37–42%), альгинитовый, цеолитизированный, легкий, раскалывается на плитки с ровными поверхностями. На плоскостях напластования наблюдаются редкие ходы роющих организмов, выполненные темным глинистым веществом, а также мелкие (1–2 мм) раковинки двустворчатых моллюсков. Теплота сгорания до 3760 ккал/кг. Выход жидких углеводородов до 20,4%. Вторая пачка: горючий сланец зеленовато-коричневый, прослоями серый с зеленоватым

оттенком, высококалорийный (ОВ 40–60%), альгинитовый с мелкими кокколитами плохой сохранности, цеолитизированный, легкий, раскалывается на тонкие плитки. Теплота сгорания до 4690 ккал/кг. Выход жидких углеводородов до 26,7%. Зольность варьирует от 43,6 до 63,6%. Содержание серы 2,6–5,7%.

Пятый пласт: горючий сланец зеленовато-серый с коричневатым оттенком, слоистый, прослоями коричневый и желтовато-коричневый, высококалорийный (ОВ 30–45%), альгинитовый, глинисто-известковый, легкий, в средней части слоя слабокарбонатизированный. При высыхании сланец растрескивается на тонкие плитки. Зольность варьируется от 39,4 до 76,2%. Теплота сгорания 1400–4480 ккал/кг. Содержание серы 1,6–6,4%. Выход жидких углеводородов 5,3–24,3%.

Шестой пласт: горючий сланец коричневатого-серый с зеленоватым оттенком, низкокалорийный (ОВ 25–30%), альгинито-сапро-коллинитовый, глинисто-известковистый и известковый, тонкогоризонтальнослоистый с редкими прослоями и линзами темно-коричневого высококалорийного сланца (ОВ > 30%) альгинитового. На плоскостях напластования наблюдаются присыпки тонкого известкового материала и раковинного детрита. Зольность варьирует от 45,5 до 69,8%. Теплота сгорания 1410–3890 ккал/кг. Содержание серы 1,6–6,1%. Выход жидких углеводородов 5,3–23,2%.

По результатам опробования 50-ти скважин на Коцебинском месторождении для каждого продуктивного пласта была построена продуктивная модель его строения, отражающая изменения основных параметров (теплота сгорания, выход жидких УВ, содержание серы, мощность, зольность и а. о. кровли пласта) по латерали (рис. 4, 5, 6, 7, 8) [6, 24].

Говоря о наиболее перспективных объектах и зонах, выделяемых на Коцебинском месторождении, необходимо отметить следующее: на сегодняшний день наиболее перспективными объектами являются первый продуктивный пласт и вторая пачка третьего продуктивного пласта (в продуктивной модели для третьего пласта используются результаты опробования только второй пачки). Латерально наиболее привлекательными считаются для первого продуктивного пласта северная, центральная и восточная части месторождения, а для второй пачки третьего продуктивного пласта западная, центральная и южная части. Также необходимо отметить, что разработку Коцебинского месторождения наиболее безопасно и рационально производить «сверху вниз». Данное технологическое решение позволит значительно снизить риск проседания вышележающих пластов в процессе разработки. Проседание же перекрывающих продуктивную зону отложений исключается ввиду высоких прочностных характеристик вышележающего реперного горизонта *Virgatitus virgatus*, представленного прочными окремнелыми известняками.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Вопрос о разработке месторождений горючих сланцев Волжского бассейна и, в частности, Коцебинского возник уже в период поисково-оценочного этапа в 80-е годы прошлого столетия. Тонкие продуктивные пласты, мощность которых редко превышает 1 метр, мощные прослои пустой породы между продуктивными пластами, высокое содержание серы в продуктивных пластах (среднее содержание серы варьируется от 3 до 5% при пиковых значениях 9%), а также

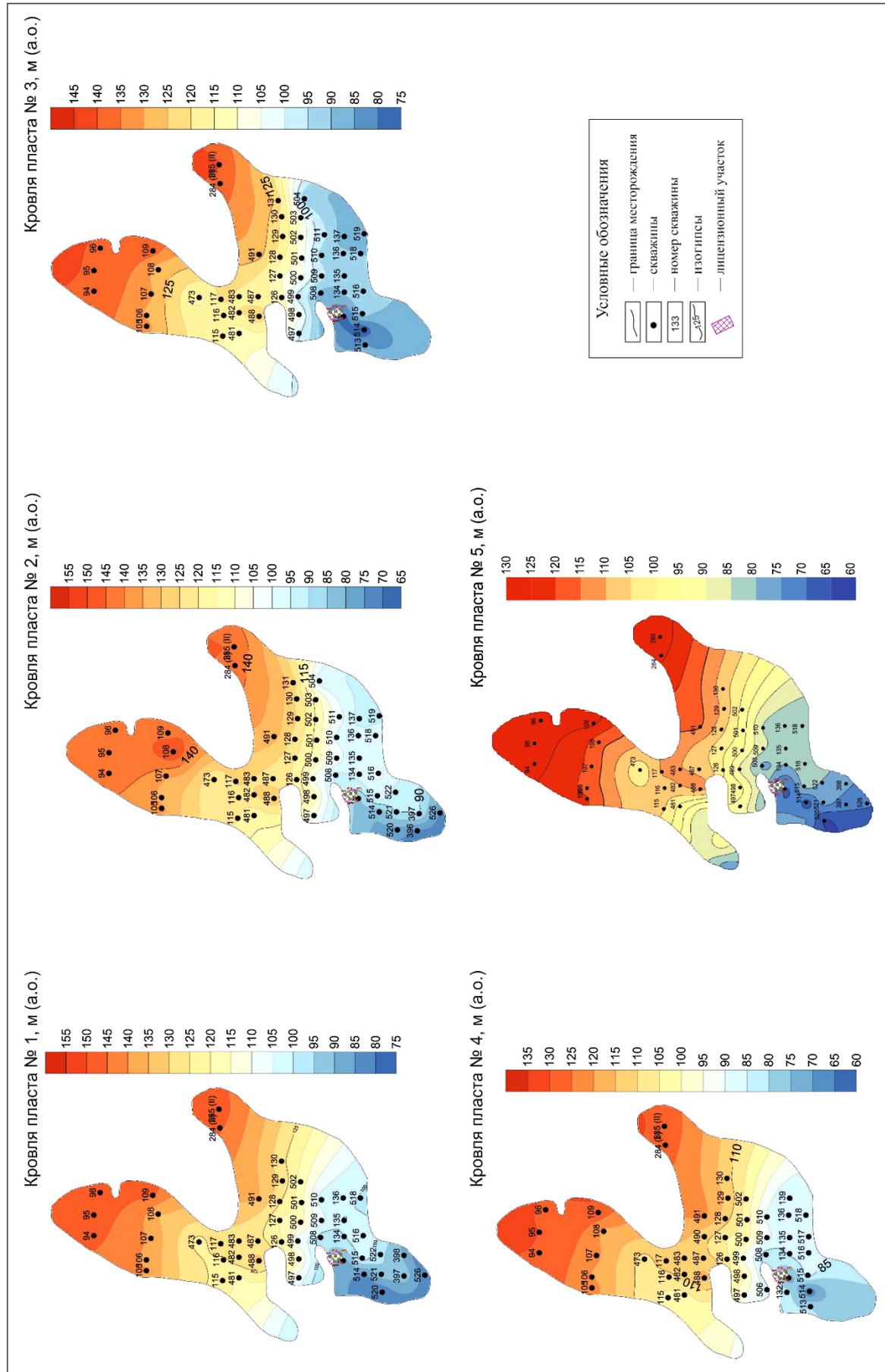


Рис. 4. Структурные карты по кровле пластов 1 – 5

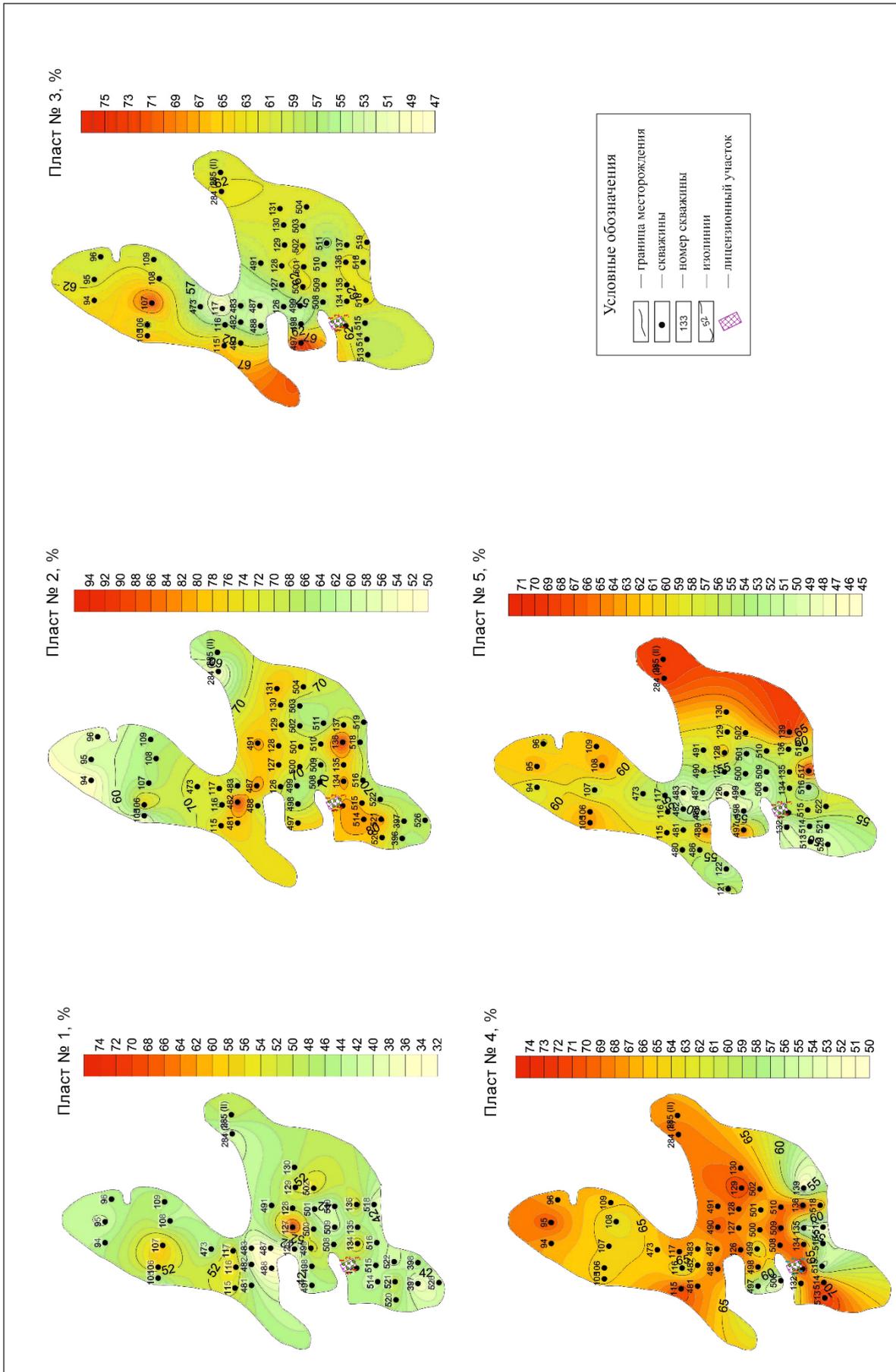


Рис. 5. Зольность горючих сланцев, пластов 1 – 5

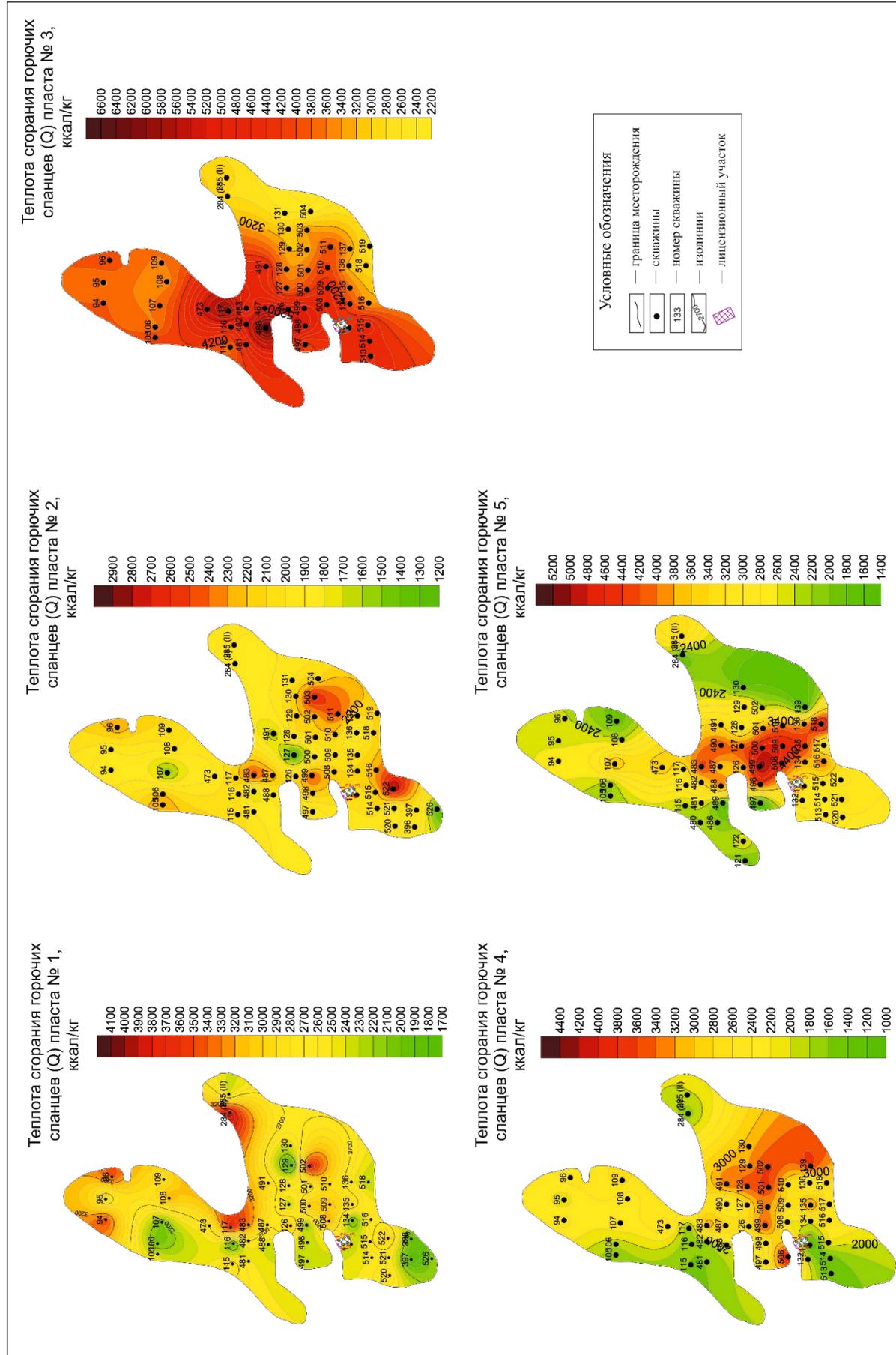


Рис. 6. Выход жидких УВ в горючих сланцах пластов 1 - 5

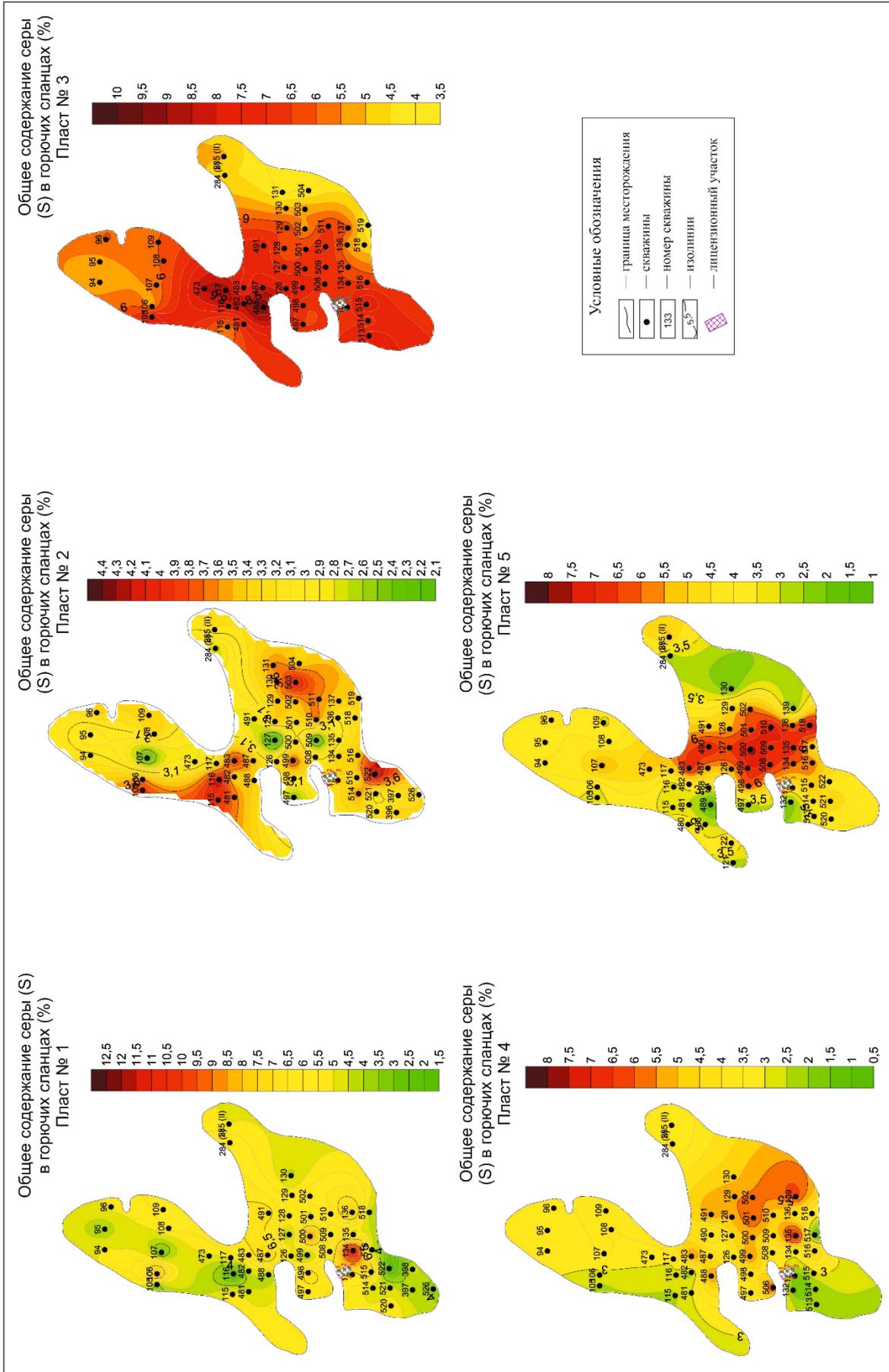


Рис. 7. Общее содержание серы в горючих сланцах пластов 1 - 5

необходимость учитывать высокую обводненность разреза, которая будет создавать дополнительные трудности в процессе разработки месторождения, — все это, а также значительные мощности вскрышной породы исключают возможность разработки Коцебинского месторождения шахтой или карьером. В связи с этим Илясовым В. Н. (ООО «Перелюбская горная компания», далее по тексту ООО «ПГК») была разработана и запатентована технология по бесшахтной добыче горючих сланцев из тонких продуктивных пластов.

В основе реализации данной технологии лежит новый бесшахтный способ добычи твердых полезных ископаемых, подтвержденный патентами РФ №№ 2236537, 2244795, 2310731. Принцип технологии заключается в следующем: путем строительства наклонных горизонтальных добывающих скважин будет выполняться механическое измельчение, размывка водой и гидротранспортирование сырья на поверхность, а также его дальнейшая переработка в специальном реакторе (патент РФ № 2342421). Правовая охрана технических решений проекта представлена в виде четырех патентов РФ:

**№ 2236537** «Способ скважинной добычи твердых полезных ископаемых и устройство для его осуществления». В изобретении решена задача расширения функциональных возможностей при добыче полезных ископаемых в тонких пластах различной категории твердости и геологической сложности. Патентообладателем выступает автор изобретений Илясов Валерий Николаевич.

**№ 2244795** «Устройство для бурения наклонно-горизонтальных скважин». В изобретении решена задача осуществления бурения по короткой дуге из наклонного участка скважины в горизонтальный участок продуктивного пласта. Патентообладателем вы-

ступает автор изобретения Илясов Валерий Николаевич.

**№ 2310731** «Мобильная буровая добывающая установка прямого и обратного действия». В изобретении решена задача функциональных возможностей за счет обеспечения возможности добычи полезного ископаемого из тонких продуктивных горизонтальных пластов, а также принудительной подачи на полную длину бурильной трубы в горизонт продуктивного пласта с помощью введения нижней талевой системы.

Патентообладателем выступает автор изобретения Илясов Валерий Николаевич.

**№ 2342421** «Реактор для термического разложения твердых горючих ископаемых». В изобретении решена задача по созданию устройства термического разложения твердых горючих ископаемых, обеспечивающего наиболее эффективную переработку горючих ископаемых порошковых фракций. Патентообладателем выступает автор изобретения Илясов Валерий Николаевич.

Технология представлена двумя мобильными модулями: добывающим и перерабатывающим.

Мобильный наземный комплекс (рис. 8, 9) включает в себя буровой добывающий модуль, располагающий магазином бурильных труб от 1000 м до 2000 м; наклонным лафетом под углом 30°–45° к горизонту; вертлюгом-вращателем; двойной талевой системой; энергетическим модулем; модулем приемных емкостей, предназначенным для улавливания и складирования добытого ископаемого по различным величинам фракций, а также для создания замкнутой, круговой циркуляции; насосный модуль для нагнетания в забой промывочной жидкости.

Подземный комплекс включает в себя универсальный набор инструментов для сплошного и колонкового бурения диаметром



Рис. 8. Экспериментальная буровая добывающая установка (УДТИ-20)

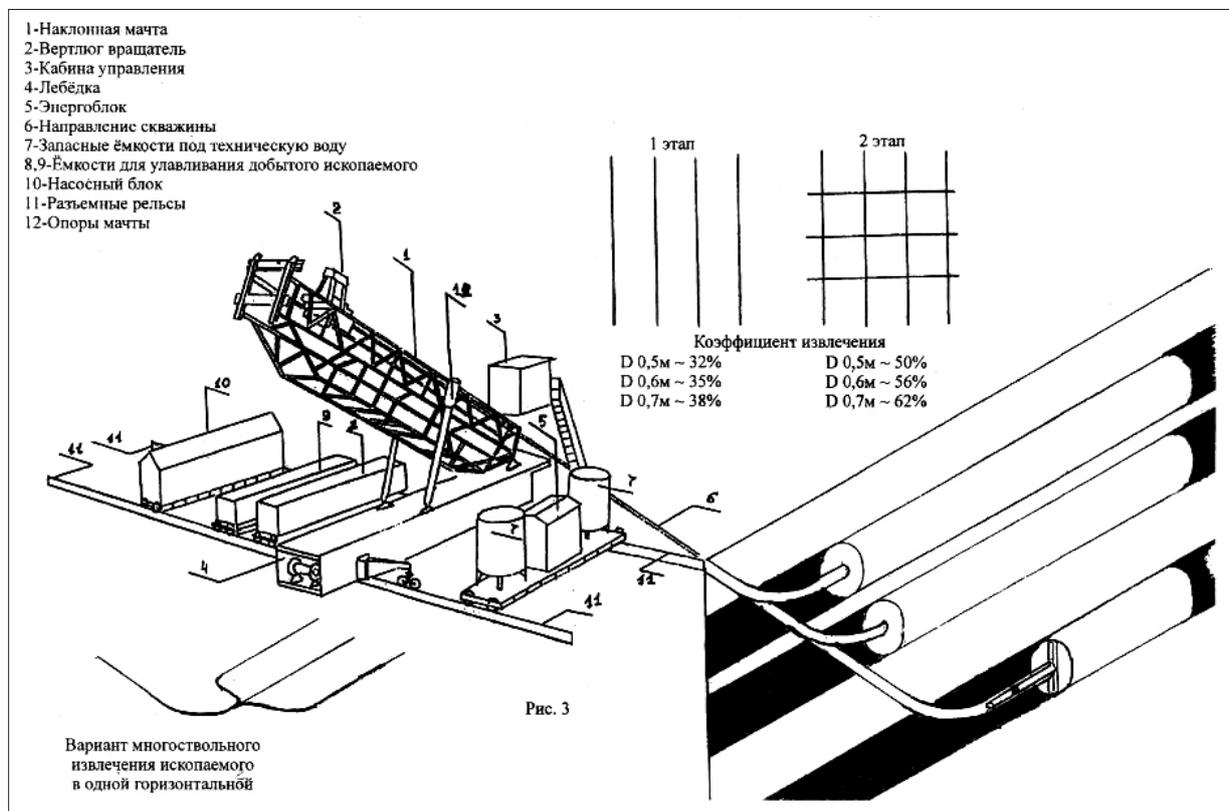


Рис. 9. Схема экспериментальной буровой добывающей установки (УДТИ-20)

215 мм — 450 мм, комплект отклоняющих устройств для выполаживания наклонного участка скважины в горизонтальном простирании, комплект добывающих устройств диаметром 400–700 мм.

Задачи, которые ставились в процессе разработки технологии по бесшахтной добыче трудноизвлекаемых полезных ископаемых, следующие: добиться рентабельности добычи и переработки, технология должна быть энергосберегающей. Решить экологические проблемы, а именно — исключить накопление отвалов пустой породы, исключить откачку технических забойных вод на поверхность, минимизировать воздействие на почвенный слой, осуществить компактное размещение наземного оборудования и исключить травматизм.

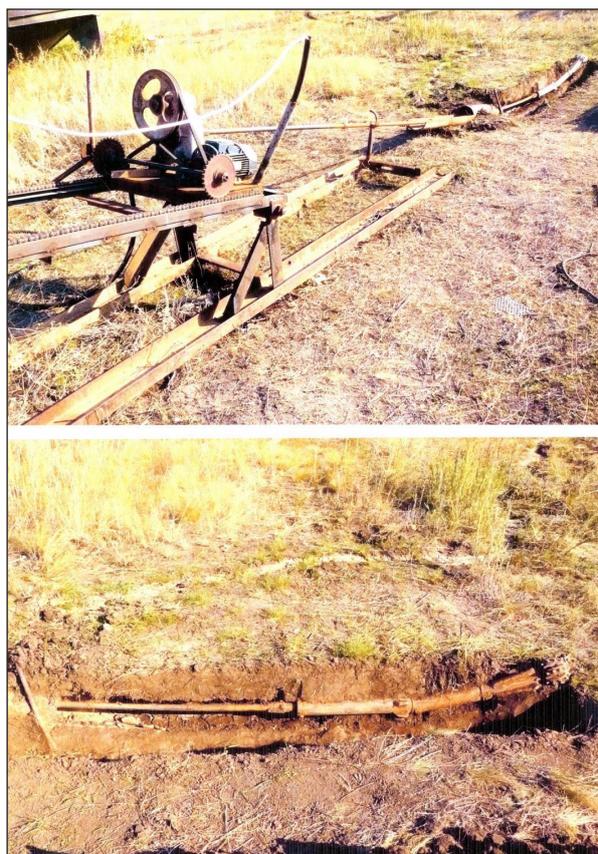
Необходимо добавить, что помимо сланцевого газа и нефти из Волжских горючих сланцев возможно получить широкий спектр полезных веществ и полезных ископаемых: рений, сланцевый кокс, ихтиол, тиофен, ультрадисперсное золото и многое другое. Это нужно учитывать на этапе разработки для увеличения возможных продуктов сбыта [7, 8, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24].

В декабре 2019 года компанией ООО «ПГК» была получена лицензия на пользование недрами (Центрально-Коцебинский участок) Коцебинского месторождения. Лицензия была выдана для геологического изучения, включающего поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, разведку и добычу полезных ископаемых, а также для выполнения опытно-промышленных работ и отработки технологий для последующей добычи полезных ископаемых. Прежде ООО «ПГК» уже был выполнен комплекс работ на поверхности по отработке технологии вхождения в про-

дуктивный пласт, удержания в нем и работы расширителя (рис. 10, 11, 12).

Данный проект получил серебряную медаль на ЭКСПО-2010 в г. Шанхае, победил на конкурсе высоких технологий ЕврАзЭС, а также имеет положительную экспертизу РВК.

Нами был подготовлен план на проведение ОПР для проверки нового технологического решения в области отработки технологии добычи горючего сланца путем строительства наклонно-горизонтальной скважины на Центрально-Коцебинском лицензионном участке. Цель проведения ОПР: отбор технологической пробы, определение устойчивости вмещающих пород, уточнения величины разубоживания и потерь, выбор наиболее подходящих систем разработки, применение новых технологий ведения горных работ. Задачи ОПР: пробурить по продуктивному



**Рис. 10. Моделирование вхождения из наклонного ствола скважины в тонкий горизонтальный пласт (0,4 м)**



Рис. 11. Моделирование «поведения» породоразрушающего инструмента (долота) на границе пластов с различной прочностью

горизонту 100 м с последующим отбором полезного ископаемого. Добыча горючих сланцев подразделяется на несколько этапов:

**1. Подготовительные работы.** Подготовка установки УДТИ-20 к строительству скважины и обвязка добывающей установки с емкостным парком. Подготовка и ревизия бурового инструмента и обсадной колонны на мостках, замер и шаблонирование. Забор необходимого количества технической воды для бурения и добычи горючих сланцев. В рамках данного технологического решения для снижения себестоимости добычи, а также минимального воздействия на окружающую среду в качестве бурового раствора рекомендуется использовать техническую воду, что, в свою очередь, подразумевает строительство одной водозаборной скважины в районе ОНР.

**2. Бурение пилотного ствола (наклонного участка).** По окончании подготовки технической воды и добывающей установки необходимо приступить к сборке КНБК для бурения наклонной секции 311,1 мм. Из расчета кровля 1-го продуктивного пласта на глубине 29 метров необходимо пробурить наклонный интервал скважины до глубины 140,5 м (глубина по стволу), с учетом зумфа 0,5 м зенитный угол скважины будет равен 78 градусам. Произвести спуск комбинированной обсадной колонны Ø273x245 мм до глубины 138 м с ее последующим цементированием.

**3. Зарезка горизонтального участка.** По окончании ОЗЦ (24 часа) собрать КНБК с долотом 215,9 мм, спустить и определить «голову» цементного стакана. Промыть в течение 2-х циклов и разбурить весь цемент внутри колонны, не углубляясь в новую породу, тщательно проработать весь обсаженный ствол, после чего произвести «зарезку» горизонтального бокового ствола. Поднять КНБК.



Рис. 12. Моделирование открытия расширителя

- 4. Бурение горизонтального участка (1-й этап добычи).** Собрать КНБК для бурения горизонтального участка секции  $\varnothing 215,9$  мм, спустить до кровли продуктивного пласта, записать в буровой журнал вес на подъем и на спуск, приступить к бурению. По выходу шлама, скорости проходки и моменте на долоте подобрать наиболее оптимальные параметры бурения для выполнения условий по удержанию в продуктивном пласте. Пробурить 100 метров горизонтальной секции, финальный забой скважины составит 240 м (глубина по стволу). Вынесенный шлам в процессе бурения осаждается в емкостях и принимается как полезное ископаемое. После достижения финального забоя промыться в течение одного цикла и прошаблонировать весь пробуренный горизонтальный участок, убедиться в свободном хождении инструмента, а также в отсутствии посадок и затяжек, после чего поднять инструмент.
- 5. Реверсное бурение (2-й период добычи).** Поднять КНБК для бурения и собрать КНБК с расширителем  $\varnothing 400$  мм (в открытом положении). Предварительно протестировав работу расширителя на поверхности, убедиться в полном раскрытии и закрытии лопастей. Спустить КНБК с расширителем (в закрытом положении) до забоя — 240 м. По достижении забоя приступить к расширению и добыче го-

рючего сланца — обратным ходом, «реверсным» бурением. Важно плавно увеличивать производительность насосов до выхода на рабочий режим. После окончания расширения за 5 метров до вхождения в обсадную колонну выключить насосы, убедиться в закрытии расширителя. Приступить к плавному подъему КНБК с ограничением скорости до 0,1 м/с в интервале башмака обсадной колонны. Внимательно следить за изменением веса буровой колонны (затяжек). После полного вхождения КНБК с расширителем в обсадную колонну приступить к полному подъему КНБК без ограничения скорости подъема. Выше описана принципиальная схема добычи горючего сланца из продуктивного пласта № 1 на Коцебинском месторождении. В дальнейшем с помощью специального отклонителя предполагается последовательное забуривание нескольких горизонтальных стволов из одного пилотного (311,1 мм). Максимальная протяженность горизонтального ствола будет определена в процессе ОПР, на данном этапе исследования наиболее оптимальная протяженность предполагается 100 метров. В состав КНБК планируется включить УБТ для создания дополнительного веса и стабилизаторы. Жесткость компоновки определяется в процессе ОПР и зависит от типа операции (бурение наклонного участка, зарезка или бурение го-

ризонального ствола). В процессе бурения горизонтального ствола и его расширения будет производиться постоянный контроль за выходом шлама, а также скоростью бурения. В состав КНБК с целью оптимизации затрат не включаются дорогостоящие MWD/LWD приборы, РУС и аналогичное оборудование. Удержание в продуктивном пласте будет осуществляться посредством природного фактора разности плотностей между пластами горючих сланцев и глин, которые подстилают и перекрывают продуктивные пласты. Предполагается удержание долота на кровле продуктивного пласта, профиль пробуренного пласта будет представлен в форме «змейки». Как уже отмечалось, данный процесс был смоделирован на поверхности и успешно испытан (рис. 11).

Затрагивая вопрос производительности одной установки, следует отметить следующее: ожидаемое производительное время бурения в год  $75\%$  или  $8760 \text{ часов} \times 0,75 = 6570 \text{ часов}$ . Скорость бурения  $70\,000 : 6570 = 10,65 \text{ м/час}$  (исходя из расчетной производительности в  $70 \text{ тыс. тонн}$  в год на одну добывающую установку). Минимальные обороты верхнего привода, а следовательно, и добывающего устройства полезного ископаемого  $60 \text{ об/мин}$  или  $1 \text{ об/сек}$ . При условии трехлопастной конструкции добывающего устройства каждые резцы режущей лопасти за один оборот будет углубляться и срезать минимум один миллиметр ископаемого (в сумме  $3 \text{ мм}$ ), а в зависимости от увеличения нагрузки на режущие лопасти от обратного хода возможно увеличение углубления резцов, следовательно, и увеличение производительности.

Принимая диаметр расширителя за  $400 \text{ мм}$ , а среднюю плотность горючего сланца первого пласта  $1,47 \text{ г/см}^3$  при  $100\%$  отборе горючего сланца в процессе добы-

чи из  $100 \text{ метрового}$  интервала, получаем  $46,158 \text{ тонн}$  полезного ископаемого. Из них сланцевой нефти —  $6,923 \text{ тонн}$  (исходя из  $15\%$  выхода жидких УВ на единицу объема). Безусловно, это цифра очень приближительная, т.к при расчете необходимо принимать во внимание множество факторов, как в процессе бурения секции  $215,9 \text{ мм}$ , так и в процессе реверсного бурения  $100\%$  отбор горючего сланца представляется весьма и весьма маловероятным. В процессе разработки сопутствующей породой будет сапропелевая и известковая глина. Стоит отметить и высокую степень латеральной изменчивости горючего сланца, т.к условия седиментогенеза сильно варьировались в процессе формирования продуктивной толщи.

Весь добытый горючий сланец как в процессе бурения пилотного ствола, так и на этапе добычи (реверсное бурение) будет представлен в виде шлама. Сланец будет подниматься по затрубному пространству и отбираться через желоб. Далее шлам поступает в серию емкостей, где за счет разницы удельного веса происходит дифференциация горючих сланцев и глин с их последующей седиментацией. После полученное полезное ископаемое поступает на перерабатывающий модуль, где подвергается многоступенчатой переработке (пиролизу — термическому разложению без доступа кислорода) и разделяется на три основные фракции: сланцевый газ, сланцевую нефть и золу. В рамках данной статьи процесс переработки детально не рассматривается, лишь отдельно стоит сказать о схеме устьевого оборудования в процессе добычи горючего сланца (рис. 13).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог вышесказанному, стоит отметить следующее: предложенная техноло-

гия разработки горючих сланцев Коцебинского месторождения на сегодняшний день является одной из возможных альтернатив шахте и карьере в условиях сложного геологического разреза. Скважинная технология минимизирует воздействие на окружающую среду, исключит присутствие человека на забое и сокращает отвалы пустой породы в процессе бурения и разработки. Данные достоинства особенно важны при условиях высокого содержания органической серы как в горючих сланцах, так и во вмещающих породах. Кроме того, данная технология значительно сокращает

издержки на бурение, т.к в качестве бурового раствора используется техническая вода без каких-либо химических реагентов, что, в свою очередь, минимизирует воздействие на окружающую среду и препятствует загрязнению водоносных горизонтов, как подстилающих, так и перекрывающих сланценосную толщу. Отсутствие в КНБК дорогостоящих элементов по типу РУС, приборов MWD/LWD значительно снижает себестоимость добычи, однако затрудняет навигацию в пласте, которая в процессе бурения будет осуществляться только за счет плотностной разности горючих сланцев

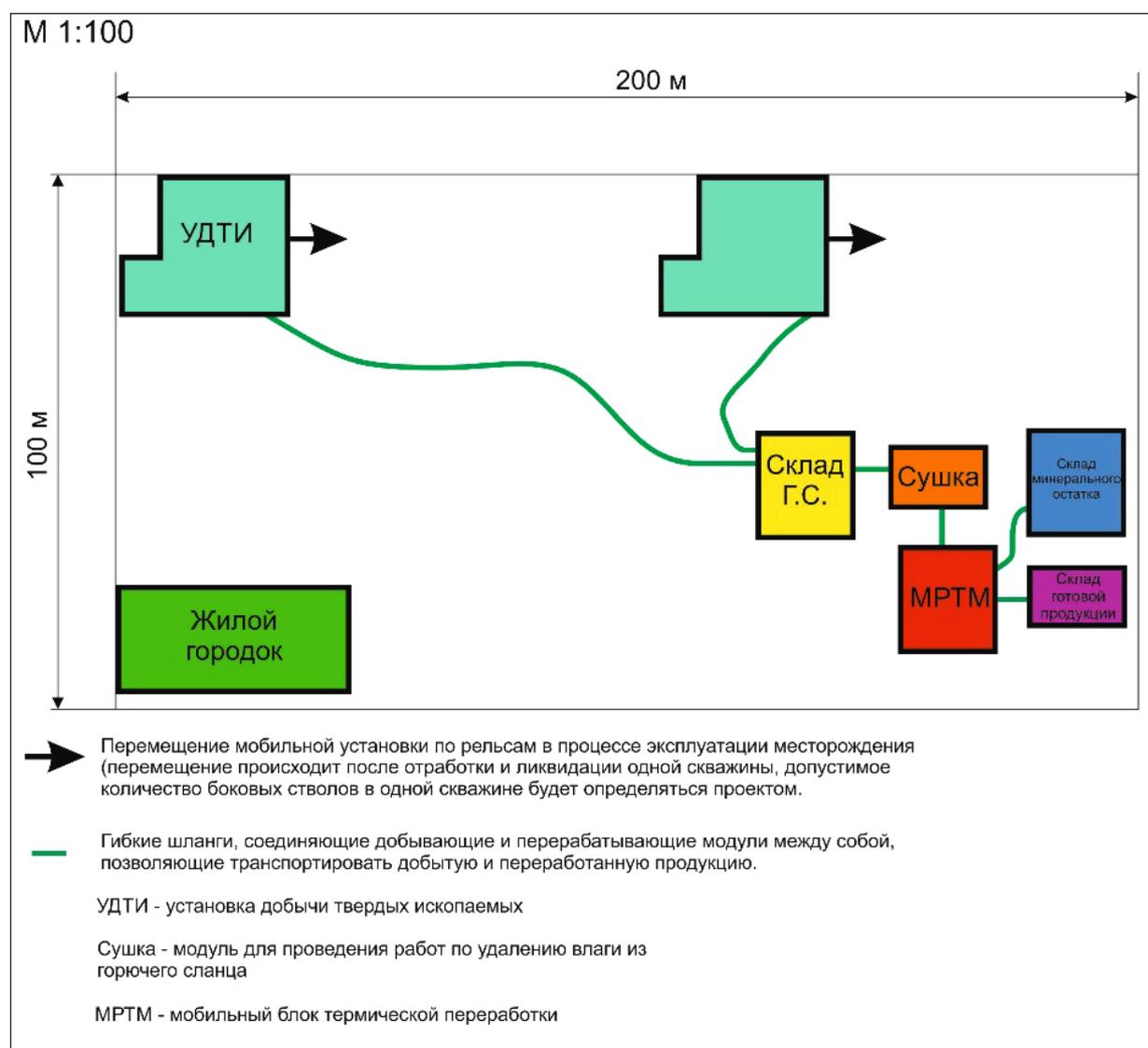


Рис. 13. Схема размещения модулей для добычи и переработки горючего сланца на Центрально-Коцебинском ЛУ

перекрывающих и подстилающих глин. Мониторинг в процессе бурения производится исключительно по показаниям механического каротажа (скорость бурения, момент на долоте) и выходу шлама. Любое изменение данных параметров будет свидетельствовать о выходе из круга допуска (продуктивного пласта). Также после бурения пилотного ствола в КНБК для реверсного бурения необходимо включить прибор инклинометрии для записи зенитного угла и азимута, что в дальнейшем позволит снизить вероятность попадания в ранее пробуренный ствол.

Данная технология может применяться не только на Коцебинском, но и на других место-

рождениях горючего сланца Волжского бассейна, что делает ее весьма перспективной.

В настоящий момент компанией ООО «ПГК» выполняются подготовительные работы к проведению опытно-промышленных работ для реализации данной технологии. При получении положительного результата появится возможность создать промышленный кластер на территории Перелюбского района Саратовской области, организовать дополнительные рабочие места, привлечь инвестиции, а также поставлять на внутренний российский рынок стратегически важные ресурсы — сланцевый кокс, рений, тиофен и т. д.

#### Л и т е р а т у р а

1. Волков, В. А. К вопросу о типе органического вещества пород баженовской свиты / В. А. Волков, Е. В. Олейник, Е. Е. Оксенойд, Л. А. Солопахина // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа, АУ «НАЦ РН им. В. И. Шпилемана», 2016. — № 28.
2. Букина, Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна / Т. Ф. Букина. — Саратов: изд-во Саратовского ун-та, 2013. — 128 с.
3. Илясов, В. С. Роль седиментационного фактора в формировании сланценосной толщи средне-волжского подъяруса на юго-востоке Волго-Уральской антеклизы / В. С. Илясов, В. Н. Староверов // Инновации в разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений. — Казань: изд. ИЛХАС. — 2016. — Т. 1. — С. 176–299.
4. Илясов, В. С. Геохимическая характеристика органического вещества верхнеюрских горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна / В. С. Илясов, В. Н. Староверов, Е. В. Воробьева // Недра Поволжья и Прикаспия. — 2018. — № 93 (февраль 2018). — С. 26–37.
5. Илясов, В. С. Модели формирования пластов горючих сланцев Волжского бассейна на примере месторождений Саратовского Поволжья / В. С. Илясов, В. Н. Староверов // Недра Поволжья и Прикаспия. — № 94 (май 2018). — С. 3–13.
6. Илясов, В. С. Построение и анализ продуктивной модели Коцебинского месторождения в связи с перспективами разработки горючих сланцев / В. С. Илясов, В. Н. Староверов, П. А. Вахрамеев // Международный научный журнал «Путь науки». — Волгоград: Научное обозрение. — 2018. — № 1(47). — С. 73–87.
7. Илясов, В. С. О влиянии литологического состава горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна на их технологические параметры / В. С. Илясов, В. Н. Староверов, Е. В. Воробьева // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2016. — № 58. — С. 92–102.
8. Илясов, В. С. Геохимическая характеристика горючих сланцев волжской сланценосной толщи в связи с прогнозированием промышленных концентраций рения / В. С. Илясов, В. Н. Староверов,

- Е. В. Воробьева, М. В. Решетников // Известия Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2017. – Т. 17, вып. 3. – С. 165–170.
9. Илясов, В. С. Закономерности распределения глинистых минералов в сланценосной толще *Dorsoplanites panderi* Коцебинского месторождения / В. С. Илясов, В. Н. Староверов // Вестник Воронежского университета. Серия: Геология. – 2017. – № 2. – С. 26–29.
10. Кашапов, Р. С. Характеристика органического вещества Баженовской свиты Юганской мегавпадины по пиролитическим данным / Р. С. Кашапов // Геология нефти и газа. Современные методы поисков и разведки углеводородного сырья. – Томск. – С. 291–293.
11. Каширский, В. Г. Горючие сланцы Поволжья: прошлое, настоящее, будущее / В. Г. Каширский, А. А. Коваль. – Саратов: Сар. гос. техн. ун-т, 2007. – 156 с.
12. Кирюхина Т. А. Доманиковые отложения Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов / Т. А. Кирюхина, Н. П. Фадеева, А. В. Ступакова, Е. Н. Полудеткина, Р. С. Сауткин // Журнал «Геология нефти и газа». – 2013. – № 3. – С. 76–87.
13. Кулева, Г. В. Детальное стратиграфическое расчленение зоны *Dorsoplanites panderi* Волжского сланценосного бассейна по фораминиферам / Г. В. Кулева, В. И. Барышникова // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1988. – № 7. – С. 126–128.
14. Кулева, Г. В., Яночкина, З. А., Букина, Т. Ф. и др. Разрез верхнеюрских сланценосных отложений Волжского бассейна (зона *Dorsoplanites panderi*) / под ред. З. А. Яночкиной, А. В. Иванова. – Саратов: Научная книга, 2004. – 110 с.
15. Лобусев М. А. Концепция формирования Арктической газоносной провинции Западной Сибири: дис. ... доктр. геол. мин. наук. Москва. 2020. 364 с.
16. Льюров, С. В. Юрские отложения севера Русской плиты / С. В. Льюров – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 140 с.
17. Озеров, И. М. Основы промышленной классификации горючих сланцев / И. М. Озеров, В. Ф. Полозов // Доклады на симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев. – Таллин: Валгус, 1970. – С. 167–171.
18. Озеров, И. М. Комплексное использование горючих сланцев / И. М. Озеров // СЭВ. Бюл. Постоянной комиссии хим. промышленности. – 1975. – № 1. – С. 65–71.
19. Ромаденкина, С. Б. Состав продуктов термического разложения горючего сланца Коцебинского месторождения / С. Б. Ромаденкина, В. А. Решетов, А. В. Кружалов, Е. В. Лобанков, Р. И. Кузьмина // Химия твердого топлива. – 2016. – № 1. – С. 22.
20. Ромаденкина, С. Б. Получение жидких органических веществ из горючего сланца Коцебинского месторождения / С. Б. Ромаденкина, В. А. Решетов // Химия твердого топлива. – 2016. – № 2. – С. 61.
21. Ромаденкина, С. Б. Теплотворная способность продуктов пиролиза горючего сланца Коцебинского месторождения / С. Б. Ромаденкина, В. А. Решетов // Химия твердого топлива. – 2016. – № 3. – С. 47–49.
22. Ступаков, А. В. Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна / А. В. Ступаков, Н. П. Фадеев и др. // Георесурсы. – 2015. – № 2. – С. 77–88.
23. Холодов В. Н. Геохимия осадочного процесса / В. Н. Холодов; [Отв. ред. Ю. Г. Леонов]. – М.: ГЕОС, 2006. 608 с.

#### Фондовая литература

24. Отчет по результатам поисково-разведочных работ на горючие сланцы в пределах Перелюб-Благодатовской площади / ПГО «Нижевожскгеология»; исполн.: Самородов А. В. [и др.]. – Саратов, 1983.
25. Проект поисков и оценки месторождения горючих сланцев на Центрально-Коцебинском лицензионном участке / АО «НВНИИГГ»; исполн.: Меркулова Н. М. [и др.]. – Саратов, 2019.