

С.А. Свидзинский, Г.А. Московский

МЕТОДИКА ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
НА МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ
В УСЛОВИЯХ СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ СТРУКТУР

Издательство Саратовского университета
2008

УДК 552.53:553.632+551.247

ББК 26.342 (235.54)

С24

Свидзинский С.А., Московский Г.А.

С24 Методика поисково-разведочных работ на минеральные соли в условиях солянокупольных структур. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2008. – 76 с.: ил.

ISBN 978-5-292-03843-6

В монографии обобщены результаты работ по разведке Эльтонского солянокупольного месторождения калийных солей с применением оригинальных методических приемов. В ней оцениваются возможности определения элементов залегания галогенных пород в кернах, приемы расчленения и корреляции разрезов. Показаны черты ритмичности галогенных отложений и обосновано преобладание в них синседиментационных текстурно-структурных признаков. Рассматриваются вопросы использования наклонного бурения и многозабойного бурения скважин. Учитывая конъюнктуру в минеральном сырье, возможность освоения калийных солей в солянокупольных структурах, рассматриваемые методические приемы могут представлять интерес для специалистов в области геологии галогенеза.

Ил. 14. Библиогр.: 113 назв.

Рецензенты:

Доктор геолого-минералогических наук *К.А. Маврин*
Доктор геолого-минералогических наук *Ю.А. Писаренко*

УДК 552.53:553.632+551.247

ББК 26.342 (235.54)

ISBN 978-5-292-03843-6

© Свидзинский С.А., Московский Г.А., 2008

© ООО «ЕвроХим – ВолгаКалий», 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов.....	4
В в е д е н и е	6
1. Предполевые работы (стадия проектирования).....	8
2. Геофизические методы поисков	10
3. Морфоструктурный анализ кепроков	11
4. Изучение микроструктурных проявлений в керне одиночных скважин.....	19
5. Рациональное расположение буровых скважин и выбор их конструкции.....	20
6. Определение элементов залегания перебуриваемых галогенных пород.....	24
7. Расчленение и корреляция разрезов по скважинам. Составление сводной нормальной колонки галогенной толщи изучаемых объектов	29
8. Установление условий залегания выявленных продуктивных залежей в поисково-разведочных профилях (вкрест простирания)	43
9. Взаимовязка залежей между поисково-разведочными профилями (по простиранию).....	46
10. Стадийность геолого-разведочных работ.....	53
10.1. Поисковая стадия	54
10.2. Оценочные работы.....	55
10.3. Разведка.....	56
10.4. Эксплуатационная разведка.....	56
11. Некоторые практические рекомендации.....	56
11.1. Технология проходки скважин.....	56
11.2. Опыт применения направленного многозабойного бурения на Эльтоне	60
11.3. Скважинная геофизика.....	63
З а к л ю ч е н и е	55
Список литературы.....	68

ОТ АВТОРОВ

Мы благодарны судьбе за предоставленную возможность на протяжении значительного отрезка времени (1964–1992 гг.) разбираться в литолого-стратиграфических и структурных хитросплетениях двух крупных соляно-купольных структур Северо-Прикаспийского соленосного бассейна: Эльтонской и Баскунчакской. Опыт предшествующего изучения подобных объектов с помощью буровых работ не имел положительного результата решения, что в значительной степени обусловило неадекватность ~~изменение~~ представлений о так называемой «внутренней соляной тектонике» (внутреннем строении) соляных куполов и привело, в конечном итоге к преобладающему среди отечественных ученых мнению о бесперспективности поисково-разведочных работ на минеральные соли в этих условиях.

Объективные критерии оценки геологического строения отмеченных выше структур установлены в связи с разработкой и применением оригинальных методических приемов, впервые обеспечивших положительный результат – открытие крупного Эльтонского солянокупольного месторождения калийных солей. Полагаем целесообразным сохранить полученный опыт, обобщенный в предлагаемой работе.

Мы выражаем большую признательность коллегам-геологам Эльтонской партии Л.Н. Морозову, Б.А. Куликову, Л.В. Аношину, В.П. Бордюгову, П.А. Черкасову, способствовавшим формированию методических новшеств и их практической апробации, а также работникам буровой службы Волгоградской геолого-разведочной экспедиции Ю.В. Романову, А.А. Салмину за претворение в жизнь технических и технологических потребностей.

В заключение не можем не отметить замечательных людей, профессионализм, авторитет, служебное положение которых способствовали сохранению на протяжении столь длительного времени этой природной

экспериментальной лаборатории (имеется в виду Эльтонский купол): Сергея Михайловича Корневского (ВСЕГЕИ, Ленинград), Алексея Леонидовича Лосева (Волгоградская ГРЭ), Илью Александровича Паукера (МингеоРСФСР), Кима Борисовича Донченко (ВИЭМС, Москва), Алексея Степановича Зверева (Мингео СССР), Сергея Михайловича Тица (Госгорхимпроект, Москва), Андрея Алексеевича Иванова (ВСЕГЕИ, Ленинград), Алексея Ивановича Отрешко (ЦНИИГеолнеруд, Казань), Феликса Иосифовича Ковальского (ПО «Нижневолжскгеология», Саратов), Михаила Михайловича Музалевского (Волгоградская ГРЭ). Светлой их памяти посвящается эта работа.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы методики изучения галогенных образований солянокупольных регионов в литературе освещены скудно; отдельные методические положения нашли отражение в работах А.А. Иванова, М.П. Фивега, А.Е. Ходькова, Ю.А. Косыгина, С.М. Корневского, В.М. Борзунова, С.А. Долгих, С.С. Коробова, Х.И. Мурсалимова, Н.К. Воробьева, Х. Камашева, К. Тухфатова, М.И. Казанцева, М.Д. Диарова, Т.А. Ошакпаева, Л.М. Гроховского, В.И. Раевского.

В работах А.А. Иванова (1953), А.А. Иванова и Ю.Ф. Левицкого (1960), С.М. Корневского (1965) впервые наиболее полно рассмотрены вопросы прогнозирования залежей калийных солей, разработаны критерии и методы прогноза. В дальнейшем эти идеи развивались и дополнялись А.А. Ивановым и М.Л. Вороновой (1972), М.П. Фивегом (1967, 1973), Л.М. Гроховским и М.А. Гроховской (1980).

В монографии А.А. Иванова (1953) содержится много полезных советов и рекомендаций, касающихся проведения поисково-разведочных работ в условиях солянокупольных массивов. Она затрагивает широкий круг вопросов и служит своего рода учебным пособием. То же в полной мере относится и к более позднему труду А.А. Иванова (в соавторстве с М.Л. Вороновой) «Галогенные формации» (1972).

В 1967 г. опубликована работа М.П. Фивега «Методика поисков калийных солей», в которой автор приходит к выводу, что с помощью бурения невозможно установить структурную и стратиграфическую обстановку галогенных образований солянокупольных массивов. По его мнению, буровые работы применимы здесь только для обнаружения кондиционных по качеству залежей; решение же остальных вопросов геологического строения подобных объектов возможно только с помощью подземных горных работ. Аналогичный вывод содержится и в монографии авторов ВНИИГалургии (ВНИИГа) (В.И. Раевский, М.П. Фивег, В.В. Герасимова, А.Ф. Гор-

бов, Н.М. Джиноридзе и др.) «Месторождения калийных солей СССР. Методы их поисков и разведки», изданной в 1973 г. Отмечено, что сложный характер соляной тектоники солянокупольных объектов Прикаспия обусловил исключительные трудности изучения условий залегания полезных ископаемых по данным разрезов буровых скважин. Остается неизвестным стратиграфическое положение продуктивных горизонтов, вскрываемых скважинами. По керну нельзя установить нормальную последовательность соленакпления в случае опрокинутой складчатости и т.п.

В 1968 г. опубликована статья Х.И. Мурсалимова с соавт. «Некоторые вопросы разведки калийных залежей в солях», в которой отмечается, что солянокупольные месторождения требуют, с одной стороны, сгущения разведочной сети в связи со сложной внутренней тектоникой, а с другой – ограниченного объема выработок из-за интенсивной растворимости солей. Авторы предлагают поисково-разведочные работы на куполах осуществлять сетью глубоких скважин с расстоянием 800–1200 на 400–600 м.

Генетической диагностике роли гидрогеологических процессов на разных стадиях исследований калийных месторождений и их эксплуатации посвятил одну из своих работ А.Е. Ходьков (1966). Он считает необходимым выяснять наличие коры выветривания или обводненной зоны соляного массива, ее нижней границы, а также разработать надежные способы тампонирования скважин.

М.И. Казанцев (1966) подвел итоги применения различных методов кернометрии при поисково-разведочном бурении. Он отметил, что в результате кернометрии резко изменилось представление о внутренней структуре Челкарского соляного массива. Предлагая применять на соляных куполах буровую сеть глубоких скважин 2×2 км, М.И. Казанцев в то же время справедливо допускает, что кернометрия может позволить отказаться от разбуривания объектов по равномерной буровой сетке.

М.Д. Диаров (1960, 1971₂, 1974) значительное внимание уделяет специфике формирования сульфатной толщи кепроков солянокупольных структур и проявлению в этой части разреза признаков на калийные соли.

Много полезных советов по методике проведения поисково-разведочных работ в условиях солянокупольных массивов содержится в книге Л.М. Гроховского и М.А. Гроховской (1980).

В 70–80-е гг. прошлого столетия было проведено несколько выездных заседаний научно-технических советов Министерств геологии РСФСР и СССР, рассмотревших проблемы калиеносности и бороносности отдельных соляных куполов и массивов Северного Прикаспия. Наиболее представительной из них явилась сессия по неметаллическим полезным ископаемым МГ СССР (Саратов, 1977 г.), которая проанализировала вопросы строения, условий образования и закономерностей размещения соленосных отложений Прикаспийской впадины, методики их

изучения, а также основные направления геолого-разведочных и научно-исследовательских работ. Сессия подвела итог более чем 40-летнего изучения Северо-Прикаспийского пермского соленосного бассейна и наметила проблемы, требующие разработки. Одной из задач, поставленных перед геологической службой ПГО «Нижевожскгеология», являются обобщение и анализ опыта изучения солянокупольных массивов Прикаспия, разработка эффективных методических рекомендаций. Первой попыткой реализации этой задачи явилась работа С.А. Свидзинского «Внутренняя тектоника солянокупольных структур и методы ее изучения» (1992). Осуществленный в данной работе анализ материалов предыдущих исследований по Прикаспию и некоторым другим солянокупольным регионам России и мира в сочетании с опытом непосредственного изучения Эльтонской и Баскунчакской структур позволили в конечном итоге обосновать следующие выводы:

– о сохранении в солянокупольных массивах элементов седиментационного тектурно-структурного облика, преобладании в них подобной складчатости;

– об умеренном проявлении текучести соли при соляном тектогенезе, связи внутренней складчатости солянокупольных массивов с их внешней формой;

– о важной маркирующей роли в галогенных образованиях лито- и ритмостратиграфических характеристик (строении микроритмов, распределении нерастворимого материала и др.).

Отмеченные закономерности установлены в связи с применением на Эльтоне и Баскунчаке комплекса рациональных и эффективных методов и приемов ведения геолого-разведочных работ, определяющие положения которых излагаются в последующих разделах предлагаемой работы.

1. ПРЕДПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ (СТАДИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

Основной задачей этого этапа является выбор конкретной структуры, оптимальной в отношении возможностей обнаружения крупного месторождения того или иного вида полезного ископаемого и выгодно отличающейся транспортно-экономическими условиями. Приведем характеристики, которые необходимо при этом учитывать.

Глубина залегания. Увеличение затрат на производство поисково-разведочных работ, усложнение технологии бурения скважин и уменьшение потенциальных запасов полезного ископаемого до уровня возможной отработки прямо зависят от глубины залегания соляного массива. Рациональная глубина изучаемого объекта выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от вида полезного ископаемого и перспектив выявления промышленного месторождения. Мы полагаем, что структуры, располагающиеся глубже 300 м, можно изучать только в исключительных случаях.

Размеры сводовой части соляного массива. Этот параметр обуславливает возможный объем запасов полезного ископаемого. Принимая за основу структурные условия и калиенасыщенность разреза галогенной толщи Эльтонского месторождения, можно рекомендовать минимально необходимые размеры соляных массивов для изучения калийных месторождений порядка 50–60 км². Прогнозные запасы полезных ископаемых в таком случае будут соответствовать запасам крупного месторождения, или примерно 1 млрд т.

Взаимоотношение с региональными тектоническими формами. Зависимости формирования соляных структур от региональных структурно-тектонических условий посвящено большое количество работ исследователей солянокупольных регионов. Среди первых сторонников подобных представлений можно назвать А.А. Богданова (1947), Н.М. Страхова (1947), Г.Д. Ажгирея (1956), Ю.А. Косыгина (1958) и др. Очевидность такой связи в настоящее время уже не вызывает сомнений.

Ю.А. Косыгин (1958) выделяет 2 типа солянокупольных областей: платформенный и геосинклинальный. Н.Ф. Балуховский (1973) дополняет эти 2 типа переходным – платформенно-геосинклинальным. По представлениям отмеченных авторов, в направлении от платформенного типа к геосинклинальному резко увеличивается роль регионально-тектонических процессов в формировании солянокупольных структур, что, по всей видимости, будет сказываться на усложнении внутренней складчатости соляных массивов.

Геосинклинальные области характеризуются в основном вытянутыми (линейными) формами соляных структур, подчиненными простиранию региональных тектонических элементов. На платформенных областях расположены линейные формы свойственны краевым частям регионов. Так, в краевых частях Прикаспийской впадины, как правило, прослеживаются соляные валы и антиклинали, вытянутые соответственно простиранию ее бортов. По направлению к центральной части впадины преобладают куполовидные, зачастую изометричные структуры. В этом же направлении происходит, по-видимому, постепенное усложнение внутренней складчатости соляных массивов. Мы полагаем, что Эльтонский купол именно в связи со своим местоположением занимает промежуточную позицию между весьма простыми по внутреннему строению антиклинальными структурами западной прибортовой части впадины и сложноскладчатыми соляными куполами ее центральной части.

По нашему мнению, кроме отмеченных общих закономерностей могут проявляться какие-то различия во внутреннем строении соляных массивов в связи с особенностями условий формирования отдельных локальных участков солянокупольных регионов. Эту возможность необходимо учитывать и выявлять в процессе осуществления поисково-разведочных работ.

Внешняя форма соляных массивов. Соответствие условий залегания слоев солей внешней форме солянокупольных структур впервые было от-

мечено немецким исследователем Х. Штилле (Сельский, 1936) для объектов Северо-Германской впадины, а в нашей стране – А.А. Ивановым (1939, 1950, 1953) на основании результатов наблюдений в горных выработках Солотвинской и Илецкой структур, а также данных по куполу Гранд Салин (США), приведенных R. Balk (1949). Так, А.А. Иванов (1953) указывает, что даже в солянокупольных структурах, при формировании которых соляные массивы могли сминаться самым прихотливым образом, наблюдается соответствие условий залегания слоев солей общей форме соляного массива. В качестве примера автор приводит Солотвинскую структуру. Отмеченное положение полностью поддерживает Ю.А. Косыгин (1958, 1961). Он считает, что образование внешней формы соляных куполов непрерывно связано с изменением их внутренней структуры. Поэтому внутренняя тектоника соли в общих чертах должна быть подчинена внешним очертаниям соляных массивов. В подтверждение Ю.А. Косыгин (1961) приводит пример по одному из куполов Северной Германии. По мнению E. Hofrichter (1968), простираение пластов в краевых частях соляного массива купола Палангана (США) параллельно границам его внешних очертаний, что подтверждается по соляным шахтам Техаса и Луизианы (Ной, Foose, O'Neil, 1968). Подобный вывод делает также американский автор D. Kupfer (1968). Четкое проявление рассматриваемой закономерности показано на структурной карте Саршедского соляного купола в ФРГ, описанного в работе А. Потхофа и Ф. Шульце (1974 г.).

Простираение соляных складок наиболее достоверно изученных солянокупольных массивов Прикаспийской впадины – Индерского, Сатиолинского, Эльтонского, Баскунчакского и некоторых других – в общих чертах согласуется с простираением внешних контуров этих структур.

Отмеченную закономерность, в случае отсутствия более определенных данных об общем простираении соляных складок, следует учитывать при выборе направления первых профилей поисковых скважин.

Стратиграфический уровень подъема соляных масс. Группа авторов, изучающих соляные структуры Днепровско-Донецкой впадины, отмечает, что структуры отличаются не только высотой подъема соляного ядра в разрезе и территориальным распространением во впадине, но и сложностью строения. По их данным относительно простую структуру имеют предфаменские и предкаменноугольные соляные купола. Предверхнепермские и особенно предпалеогеновые и предчетвертичные построены сложно. Другими словами, чем моложе стратиграфический уровень структур, тем сложнее они построены.

2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Подробные сведения о применении различных площадных геофизических методов (в основном электро-, сейсмо- и гравиразведка) при поисках месторождений минеральных солей, в частности в солянокупольных

регионах, приведены в работе А.А. Иванова и М.Л. Вороновой (1972) и нами здесь не рассматриваются. По результатам этих работ оконтуривается сводовая часть соляного массива и определяются глубины залегания соляного зеркала и мощности кепрока.

Из геофизических методов установления внутреннего строения солянокупольных массивов в настоящее время можно рекомендовать электроразведочные работы методом ЗСТ. Этот метод широко используется при структурных исследованиях в нефтяной геофизике. Физико-геологической основой для применения метода при поисках калийных залежей на куполах являются их отличительные свойства по сравнению с толщиной каменной соли по электросопротивлению.

Впервые метод ЗСТ был внедрен при поисках и разведке соляных залежей в Предкарпатье (Сапужак, Шамотко, 1971). Положительные результаты этих работ позволили рекомендовать постановку производственно-экспериментальных исследований в условиях Эльтонской солянокупольной структуры.

Опытные работы на Эльтоне были проведены в 1972–1973 гг. группой сотрудников Нижне-Волжского НИИГГ (Г.И. Санников, В.В. Тикшаев и др.). Основной целью работ являлось подтверждение того факта, что в условиях Эльтонского объекта электропроводность калиесодержащих слоев будет увеличена по сравнению с натриевыми солями. Эта особенность была подтверждена. Так, пласты, вмещающие сильвинит, дают прибавку к продольной проводимости надсолевой толщи на 15–30%.

Результаты проведенных исследований в отношении выяснения внутреннего строения Эльтонского соляного массива в должной мере проанализированы нами. Сделанные при этом выводы полностью совпадают с мнением авторов экспериментальных работ относительно разрешающей способности ЗСТ. Корреляция внутрисолевых горизонтов по кривым ЗСТ не может быть осуществлена однозначно известными приемами. Слишком многоплановыми оказываются результаты корреляции. Тем не менее основные геофизические материалы исследований являются качественными и могут быть рекомендованы для использования на стадии поисков при выборе мест заложения первоочередных профилей буровых скважин. Работы по усовершенствованию метода целесообразно продолжить.

3. МОРФОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КЕПРОКОВ

Для «открытых» куполов Прикаспийской впадины, характеризующихся выходом гипсово-ангидритовых образований на дневную поверхность, свойственно проявление в рельефе обнажающихся кепроков «жестких» внутриформационных горизонтов соляного массива. Эти горизонты обычно сложены ангидритовыми, ангидрит-доломитовыми породами, мергелями и т.п. Они участвуют в интенсивной внутрикупольной складчатости и выходят к соляному зеркалу под различными, преимуще-

ственно крутыми углами. По мере растворения и выноса со сводовой части массива легкорастворимых солей «жёсткие» горизонты возвышаются над соляным зеркалом и разрушенной гипсовой толщей кепрока и проявляются в рельефе в виде гряд и холмов (Коробов, 1960; Диаров, 1960, 1971₁, 1974; Долгих, 1963; Кореневский, Воронова, 1966; Деревягин и др., 1981).

Исследование характера проявления положительных структурных форм рельефа, так называемых «гипсовых полей» открытых куполов Прикаспийской впадины, позволяет в некоторых случаях определять общее направление внутренней складчатости располагающегося ниже соляного массива. Метод поисков, основанный на этом принципе, получил название морфоструктурного (Диаров, 1960). Заключается он в дешифрировании аэрофотоматериалов с последующим маршрутным обследованием и картированием положительных форм рельефа.

Впервые идею о том, что ангидритовые породы, прослеживающиеся на поверхности кепрока Индерского купола в виде рельефных и определенно ориентированных грядок, являются одним из горизонтов толщи соляного массива, высказал А.Н. Волков в 1941 г. Используя результаты бурения скважин в непосредственной близости от таких гряд, он доказал тесную их связь с ангидритовыми пластами соляной толщи. Последующими работами это положение здесь полностью подтвердилось (рис. 1). Установленное соответствие структур кепрока и соляного массива позволило С.С. Коробову в 1956 г. наметить схему общего характера внутреннего строения Индерского купола. Основываясь на этом опыте, в начальной стадии поисковых работ на Баскунчаке местные геологи осуществили дешифрирование аэрофотоснимков с последующим обследованием положительных форм рельефа в пределах выхода на дневную поверхность гипс-ангидритовых пород кепрока. Было установлено, что положительные формы сложены преимущественно ангидрит-доломитовыми слоистыми породами, располагающимися среди поля гипсов под значительными углами (30–80°). В связи с этим приведённая схема (рис. 2) выходов этого горизонта на дневную поверхность отображает в общих чертах внутреннюю структуру соляного массива на участках Северный, Вак-Тау и Южный (Свидзинский, 1992).

Прежде чем перейти к структурному анализу «закрытых» глубоко залегающих (300–500 м) соляных куполов, мы полагаем необходимым определить их генетическую сущность.

По вопросу о происхождении кепроков нет единого мнения. Некоторые исследователи (Васильев, 1937; Батурин, 1947; Калинин, 1951; Лобанова, 1960; Отрешко, 1970) высказываются в пользу их первичной нормально-осадочной природы. Большинство же авторов (Волков, 1937; Буялов, 1937; Иванов, 1953; Иванов, Левицкий, 1960; Косыгин, 1958, 1960; Диаров, 1960, 1971₁; Коробов, 1960; Воронова и др., 1962; Кореневский, Воронова, 1966; Ходьков, 1966; Ходьков, Валукунис, 1968; Ки-

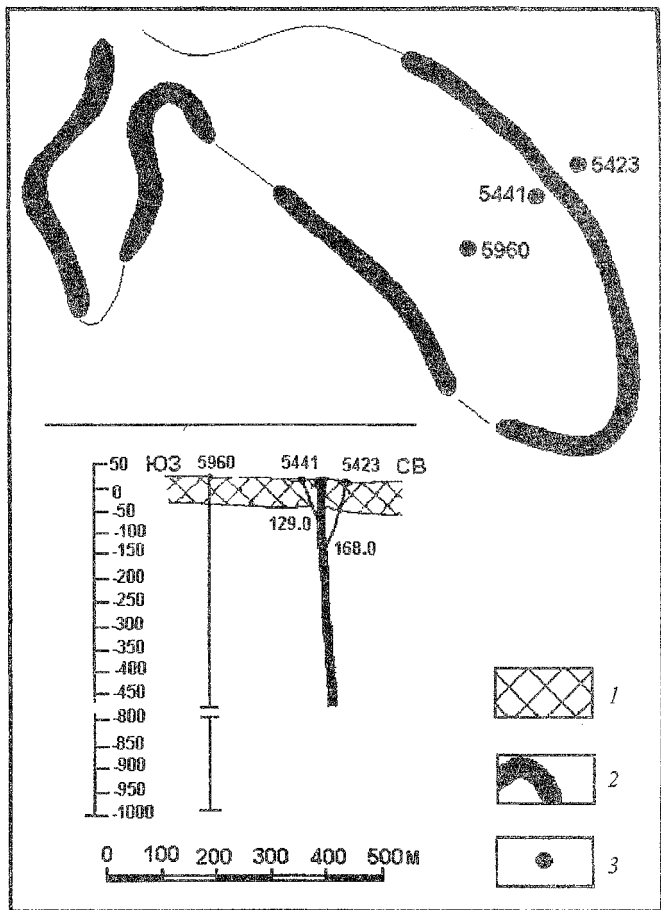


Рис. 1. Индерская структура. Участок Восточный Кургантай. Выход ангидритового горизонта на дневную поверхность и его положение в соляном массиве (Л.А. Дюсельбаева, 1967 г.): 1 – породы кепрока; 2 – ангидритовый горизонт; 3 – буровая скважина и её номер

тык, 1970; Иванов, Воронова, 1972) рассматривают образование мощных кепроков как результат вторичных превращений, как следствие сложных процессов гипергенеза в верхней части соляного массива. На тех же позициях стоит в настоящее время большинство зарубежных исследователей (Murty, 1966).

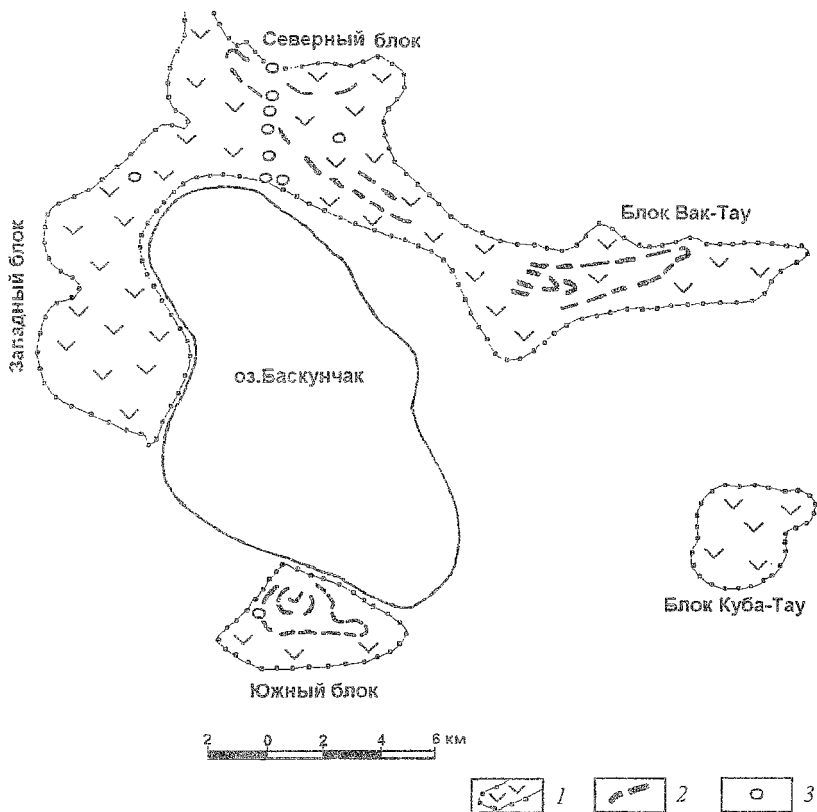


Рис. 2. Баскунчакская структура. Тектоническая схема: 1 – выход гипс-ангидритовых пород кепрока к дневной поверхности; 2 – положительные формы рельефа, образованные доломит-ангидритовым внутрисолевым горизонтом; 3 – буровая скважина

Вторая точка зрения подтверждается тем обстоятельством, что глубокопогруженные структуры в Прикаспии (примерно глубже 600 м) не имеют ясно выраженного кепрока; структуры же, расположенные ближе к дневной поверхности, т.е. достигающие зоны гипергенеза, отличаются наличием мощного кепрока (Буялов, 1937; Васильев, 1937; Иванов, Левицкий, 1960).

Вслед за Ю.А. Косыгиным (1960) некоторые авторы (Короткевич, 1970; Отрешко, 1974; Ошакпаев, 1974) выделяют первичные и вторичные кепроки. По-видимому, этот компромиссный вариант является наиболее близким к действительности. Мы не будем останавливаться на опи-

сании фактов, свидетельствующих в пользу унаследованности строения и вещественного состава вторичных кепроков от пород, залегающих в верхних — эродированных частях соляных массивов, так как эти факты изложены в многочисленных литературных источниках (Иванов, Левицкий, 1960; Коробов, 1960; Ходьков, Валукоис, 1968; Диаров, 1971₂). В частности, М.Д. Диаров (1971₁) устанавливает тесную литологическую и текстурно-структурную зависимость элювиальных образований кепроков от материнских соляных пород методом математической статистики. Он приводит числовое значение (0,89) коэффициента корреляции между содержанием окиси бора в солях и элювии (кепроке).

Элювиальная природа вторичных кепроков позволяет рассматривать эту толщу в качестве экрана для предварительного установления общих закономерностей внутреннего строения «закрытых» солянокупольных массивов.

Структурный анализ кепрока впервые был успешно применён М. Диаровым, Х. Камашевым и К. Тухфатовым (1968) для Сатимолинского купола. Авторы отмечают, что участки над калиеносными горизонтами, по сравнению с участками над вмещающей каменной солью, характеризуются в кепроке повышенным содержанием нерастворимых продуктов. Соответственно в местах выходов этих горизонтов образовались более мощные скопления элювия, которые отчётливо выделяются в составе сульфатной толщи кепрока. На основании такой зависимости и немногочисленных поисковых скважин ими были составлены схематическая геолого-литологическая карта соляного зеркала и тектоническая схема соляного массива.

В процессе поисково-разведочных работ на Эльтоне (Эльтонское месторождение — Улаганский участок) были построены структурные карты по соляному зеркалу (рис. 3), кровле кепрока (рис. 4) и карта равных мощностей кепрока (рис. 5). При этом выяснилось, что простирание изогипс по кровле кепрока и изолиний равных его мощностей согласуются в общих чертах как между собой, так и с простиранием внутренних соляных складок.

Большую работу по совершенствованию рассматриваемого метода осуществил М. Диаров (1971₁), который установил влияние на образование элювиального кепрока таких факторов, как углы падения коренных пород, их мощности, содержание нерастворимых продуктов и др. Решающую роль при этом играет содержание нерастворимого в солях остатка, которое, к примеру, в каменной соли Челкара составляет 5,6%, Сатимолы — 3,9%, а в продуктивных калийно-магниевых горизонтах — значительно выше (соответственно 19,1% и 12,9%). Поэтому на участках выходов к соляному зеркалу калийных и калийно-магниевых пород образуется более мощная толща кепрока с относительными превышениями в 20–40 м.

Метод поисков, основанный на структурном анализе «закрытых» кепроков, имеет, по нашему мнению, большое значение для предваритель-

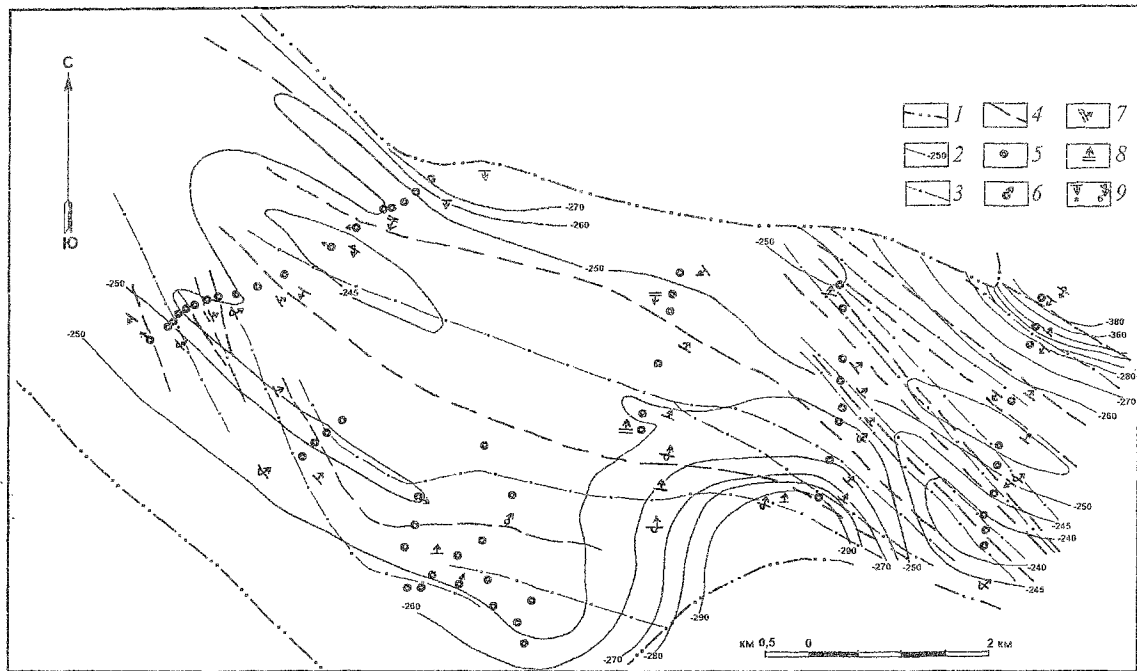


Рис. 3. Структурная карта соляного зеркала (Свидзинский С.А., Морозов Л.Н.): 1 – граница сводовой части соляного зеркала по изогипсе соляного зеркала – 370 м; 2 – изогипсы по соляному зеркалу; 3 – оси антиклиналей, установленные кернометрией, 4 – оси синклиналий; 5 – буровая скважина; 6–9 – элементы залегания пород: 6 – установленные кернометрией; 7 – определенные графически по трем точкам, 8 – установленные графически при перпендикулярном пересечении слоистости значительно искривленной скважиной, 9 – предполагаемые по общегеологическим предположениям (а – нормальное, б – опрокинутое залегание)

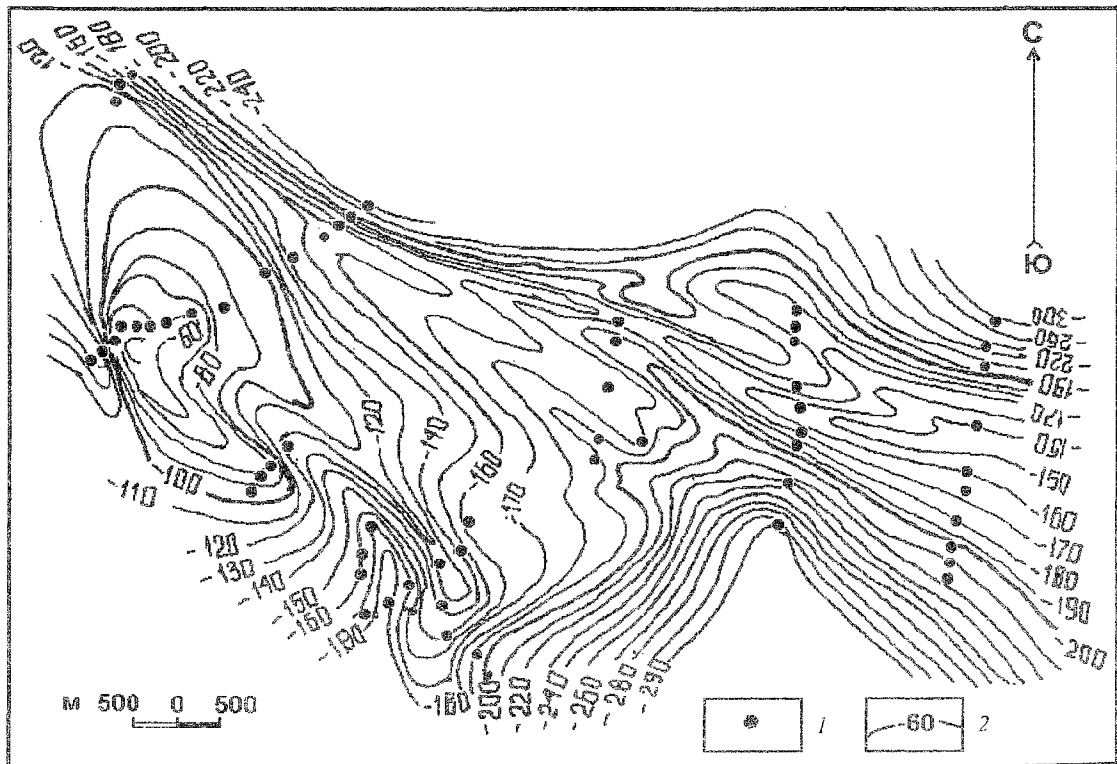


Рис. 4. Структурная карта кровли кепрока (П.А. Черкасов): 1 – буровая скважина; 2 – изогипсы по кровле кепрока

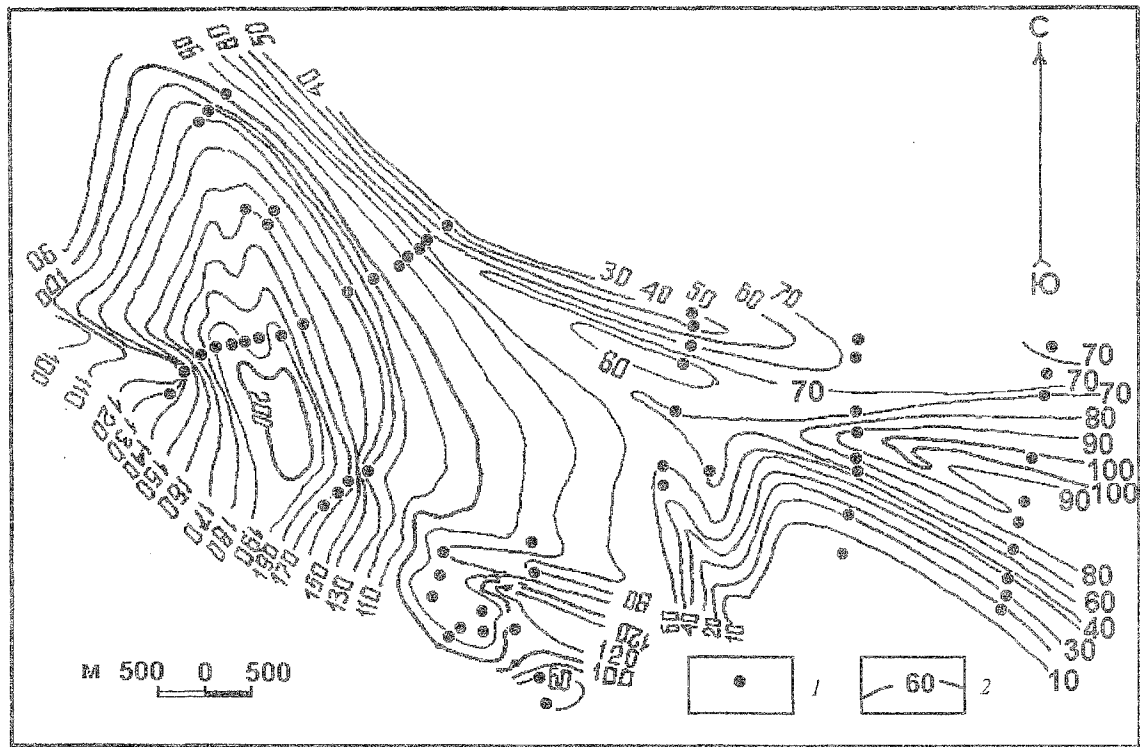


Рис. 5. Карта равных мощностей кепрока (Л.В. Аношин): 1 – буровая скважина; 2 – изолинии равных мощностей кепрока

ного выяснения общего характера внутренней складчатости соляного массива, предшествующего буровым работам. Вместе с тем интерпретация внутреннего строения соляных куполов на основе анализа изомощностей кепроков, по-видимому, будет неоднозначной для различных структур или структурных зон. К примеру, в разрезе галогенной толщи Эльтонского купола наименее загрязнены водно-нерастворимыми примесями как раз продуктивные калийные и калийно-магниевые пласты (до 1%), а также вмещающая их толща каменной соли продуктивного горизонта (2–3%). Располагающаяся же стратиграфически выше каменная соль калиеносного и верхнего галитового горизонтов нерастворимого осадка содержит значительно больше (5–15%). Галопелит-ангидритовый горизонт, почти целиком сложенный нерастворимым материалом, также залегает выше продуктивного горизонта.

Накопление элювия здесь происходит интенсивнее не на участках выхода к соляному зеркалу продуктивных пластов, а в местах развития антиклинальных складок.

4. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В КЕРНЕ ОДИНОЧНЫХ СКВАЖИН

Кроме нескольких основательно изученных солянокупольных массивов Прикаспийской впадины (Индер, Челкар, Сатимола, Эльтон), насчитывается более сотни куполов, на которых пройдено небольшое количество скважин (от 1–2 до 10–15). Сопоставление и увязка разрезов по этим скважинам обычно невозможны, однако анализ кернового материала галогенной толщи может дать некоторое представление о характере внутрикупольной складчатости. Сюда, прежде всего, относятся наклон слоев, чётко фиксируемый сезонными слоями ангидрита, и степень будинированности этих слоев, которая характеризует степень проявления пластичности солей при тектогенезе.

Интересным в практическом отношении при анализе микроструктурных проявлений в керне одиночных скважин является соответствие в соляных дислоцированных образованиях складчатых форм различных порядков и приуроченность микроскладчатости к определенным элементам макроскладок.

Зависимость между складчатыми формами различных порядков в несоляных породах впервые была отмечена Пумпелли (1894 г.), а в отечественной литературе – В.К. Ливановым (1935). Последний считал возможным проведение полной аналогии между крупными и мелкими структурными формами. Некоторые исследователи (Джиноридзе и др., 1973, 1982) широко используют для анализа макроскладок наблюдения над микроструктурами. К.Г. Войновский-Кригер (1936) рекомендует при этом проявлять известную осторожность в перенесении наблюдений над микроструктурами на структуры более крупных порядков в связи с тем,

что некоторые типы сложной плейчатости и течения не встречаются в природе в гигантских формах.

Характеризуя внутреннюю тектонику Солотвинской структуры, А.А. Иванов (1950) отмечает, что на крыльях и в замках крупных складок имеет место проявление дополнительной, более мелкой складчатости такого же порядка. Позднее, используя материалы по Верхнекамскому месторождению, он пришёл к выводу о едином плане построения складчатых форм как крупного, так и более мелких масштабов, что свидетельствует, по его мнению, об однозначности сил, определяющих характер внутренней тектоники соляных залежей и их внешней формы. Б.М. Голубев (1972) показал, что в калийной зоне Березниковской брахиантиклинали складки разных порядков моделируют друг друга. К подобным выводам приходит и группа авторов, изучавших Калуш-Голыньское месторождение в Восточном Прикарпатье (Джиноридзе и др., 1972).

Т.А. Ошакпаев (1974) считает, что в соляных массивах характерной особенностью складчатости являются чёткое соответствие пространственного направления осей складок всех возможных порядков и групп и совпадение в соответствующих случаях осевых плоскостей складок. Об этом же свидетельствуют результаты исследований внутренней структуры соляных куполов, проведённых в подземных горных выработках многими зарубежными геологами (Balk, 1949, 1953; Kupfer, 1968 и др.).

К.Г. Войновский-Кригер и Е.И. Паталаха (1968) отмечают, что микроскладчатость преимущественно осложняет замки складок более крупных порядков.

Анализ микроструктурных проявлений в керне эльтонских скважин позволил нам установить следующую закономерность:

- интенсивный будинаж приурочен в основном к крыльям и присводовым частям узких пережатых антиклинальных складок; в широких пологих синклиналях будинаж либо не имеет места, либо проявлен слабо;
- плейчатость преимущественно развита или в местах усложнений основных складок складчатостью второго и третьего порядков, или в узких мульдах синклиналей, или на значительно изогнутых крыльях складок.

Рассмотренные косвенные признаки внутреннего строения соляных массивов могут и не иметь чёткого проявления на каждой солянокупольной структуре. Однако возможность такого проявления, даже какого-либо признака в отдельности, определяет необходимость их анализа и учёта, что должно осуществляться на начальных этапах изучения структур.

5. РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ БУРОВЫХ СКВАЖИН И ВЫБОР ИХ КОНСТРУКЦИИ

Анализ опыта работ в условиях солянокупольных структур как в нашей стране, так и за рубежом позволяет сделать следующие основополагающие выводы:

– бурение одиночных скважин в пределах сводовой части соляных массивов может привести к случайному вскрытию продуктивных залежей; однако условия залегания обнаруженных залежей с помощью одиночных скважин изучены быть не могут;

– бурение скважин, расположенных в поисково-разведочных профилях или по определённой сетке, без установления и учёта элементов залегания галогенных пород и при значительных, превышающих возможность построения перекрытых разрезов, расстояниях между скважинами (4–2–1 км) также не является достаточно результативным; получаемая при этом геологическая информация зачастую является отрывочной и в общих чертах аналогичной информации одиночных скважин;

– бурение картировочных скважин с незначительным заглублением в тело соляного массива (30–50 м) не оказывает, в отличие от глубоких скважин, вредного влияния на сохранность продуктивных залежей; стволы таких скважин располагаются в пределах верхних охранных целиков (80–120 м), определяемых кондициями при решении вопроса о разработке солянокупольных месторождений; с учётом этого картировочные скважины, казалось бы, можно бурить в любом количестве и в любой части свода соляного массива как в профилях глубоких скважин, так и между профилями; однако эффективность бурения таких скважин на разных стадиях поисково-разведочных работ различна и напрямую зависит от надёжности и выразительности выявленных литолого-фациальных особенностей галогенной толщи, позволяющих устанавливать её коррелятивные возможности в любом интервале разреза; последнее обычно, может быть достигнуто только на стадии разведки или, в лучшем случае, оценочных работ; необходимо также отметить, что проходка картировочных скважин в условиях закрытых структур с глубиной залегания соляного зеркала 200–400 м экономически малоэффективна в связи со сложностью бурения пород надсолевой толщи и кепрока из-за имеющих место геологических осложнений, вызванных их водообильностью, трещиноватостью и т.п.

Учитывая специфику геологического строения солянокупольных структур и требования к их изученности на различных стадиях поисково-разведочных работ, при выборе методики расположения скважин геологи должны руководствоваться двумя обязательными условиями. Первым из них является необходимость оптимального по достоверности выяснения условий залегания продуктивных горизонтов, а вторым – минимальное «защелчивание» месторождения, т.е. минимальное количество глубоких скважин. Разработке компромиссного варианта, учитывающего эти 2 условия, нами было уделено особое внимание при изучении Эльтонского месторождения.

В общих чертах он сводится к следующему: скважины глубиной порядка 1200 м располагаются в поисково-разведочных профилях, ориентированных вкрест простирания соляных складок. Расстояние между про-

филиями составляет не менее 2 км. Между профилями бурение глубоких скважин не допускается, однако в профилях выбирается такое их количество и такие расстояния между ними, которые обеспечивают требуемую надёжность установления системы складчатости и условий залегания продуктивных горизонтов.

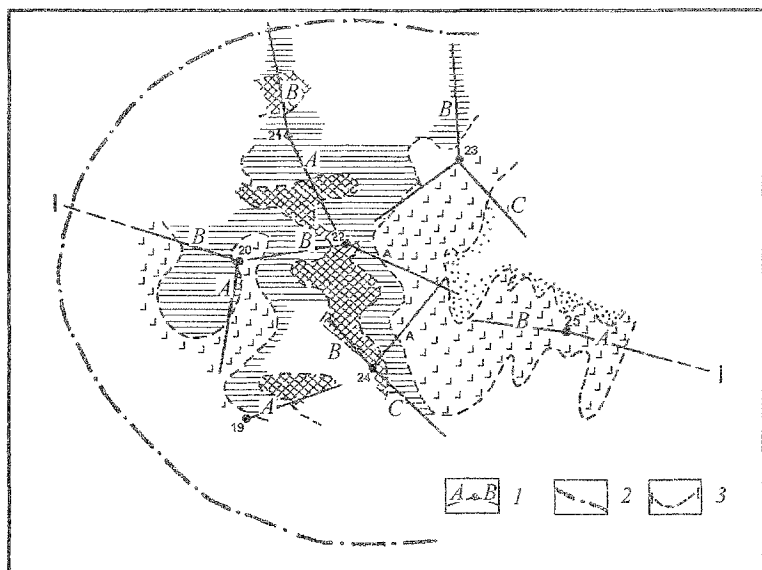
Расстояние между поисково-разведочными профилями порядка 2 км и отмеченные глубины скважин (в среднем 1100–1200 м), принятые при изучении Эльтонского месторождения, неоднократно апробировались Министерством геологии РСФСР и СССР, а также институтом «Госгорхимпроект» и ГКЗ СССР при рассмотрении материалов работ, составления ТЭДа и апробации запасов. Эти параметры рекомендуются нами в качестве оптимальных для любых солянокупольных объектов (Свидзинский, Ковальский, 1978, 1979₂, Свидзинский, 1992).

Предварительно, перед началом буровых работ, местоположение и ориентировку поисково-разведочных профилей следует намечать с учётом сведений, полученных при анализе рассматриваемых выше косвенных признаков внутреннего строения объектов. В дальнейшем они должны уточняться по результатам определения элементов залегания галогенных пород на керне. Расстояния между скважинами в профилях выбираются с учётом устанавливаемых в каждом конкретном случае (по отбуренной скважине) углов залегания пород и с расчётом получения перекрытого разреза по профилю. В этом отношении при крутой складчатости наиболее эффективным и рациональным является применение направленного наклонного многозабойного бурения. Опыт успешного применения многозабойного бурения на Эльтоне рассматривается в разд. 11.2.

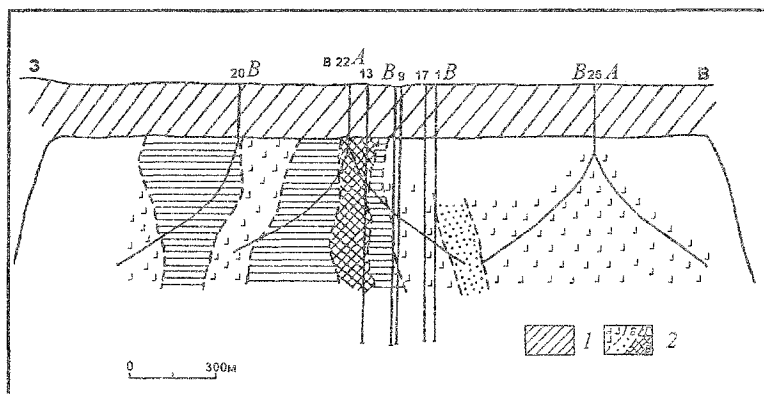
Рассмотренная методика расположения скважин в условиях солянокупольных структур будет, по всей видимости, приемлема не во всех случаях. В настоящее время она, несомненно, является оптимальной для краевых брахиантиклиналей и солянокупольных массивов ассиметричных, вытянутых в каком-либо направлении, с соответствующим характером внутренней складчатости. Для изометричных объектов типа куполов Палангана (США), Саршедского (ФРГ) и Челкарского, отличающихся изометричным внутренним строением, наиболее эффективным следует признать бурение глубоких наклонных многозабойных скважин как минимум 3 стволами в 3 разнозначных направлениях. При определении расположения скважин и ориентировки их стволов должно учитываться обязательное получение перекрытых разрезов по всем выбранным направлениям. За основу работ на изометричных куполах можно принять опыт изучения структуры Палангана (Hofrichter, 1968) с дальнейшим его развитием, совершенствованием (рис. 6, а, б).

Конструкция скважин определяется следующими положениями:

– необходимостью иметь достаточный диаметр керна, позволяющий производить его опробование; при этом должна учитываться естествен-



a



б

Рис. 6. Соляной купол Палангана (США) (Hofrichter, 1968): *a* – схематическая геологическая карта на глубине 610 м: 1 – буровая скважина, ее номер и горизонтальная проекция направленно искривленных стволов А, В, С; 2 – граница сводовой части соляного массива (*a*, *б*, *в* – галогенные породы различного состава); 3 – линия геологического разреза; *б* – геологический разрез по профилю I. 1 – образования надсолевого свода и кепрока; 2 – разновидности пород соляного массива

ная потеря диаметра при бурении в интервалах гигроскопических солей (карналлит, бишофит и т.п.);

– сложностью геологического строения объекта, обуславливающей возникновение геологических осложнений и связанных с ними аварий.

При изучении Эльтонского месторождения скважины обсаживались тремя колоннами труб. Первая колонна диаметром 146 мм перекрывала терригенные образования надсолевой толщи. Вторая колонна (127мм), спускаемая «впотаёй», изолировала неустойчивую верхнюю часть кепрока (галечник, разрушенный ангидрит). Третья колонна (108 мм) заглублялась в соль (ниже соляного зеркала на 20–30 м) с выходом на поверхность. Башмак этой колонны надёжно цементировался специальным цементом, устойчивым в солях (см. разд. 11.3), что предотвращало полное поглощение промывочной жидкости в нижней части кепрока и на соляном зеркале. Дальнейшее бурение до проектных глубин производилось диаметром 93 и 76 мм.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЕРЕБУРИВАЕМЫХ ГАЛОГЕННЫХ ПОРОД

При изучении месторождений в условиях солянокупольных структур установление элементов залегания перебуриваемых пород должно рассматриваться в качестве одного из основных видов исследований.

Над решением проблемы получения ориентированного керна многие годы работали специалисты как в нашей стране, так и за рубежом. Было предложено много приборов и приспособлений (Казанцев, 1966), однако из-за больших погрешностей в ориентировке керна или сложности конструкций они не получили широкого применения.

В 1951 г. группой сотрудников Восточно-Казахстанского геологического управления (ГУ) (Н.А. Грибский, М.И. Казанцев, А.С. Перьков) был изобретён керноскоп К-5, позволяющий получать ориентированный керн из наклонных скважин, и кернометр КР-2, на котором определяется действительное положение в пространстве наблюдаемых структурных элементов. В процессе внедрения этих приборов в практику геологоразведочных работ был разработан новый прогрессивный метод изучения геологических структур, названный кернометрией (Казанцев, 1966). Керноскоп К-5 и кернометр КР-2 получили широкое распространение в системе Министерства геологии СССР и были единственными в стране серийно выпускаемыми приборами.

В 1965–1966 гг. в Уральском ГУ были созданы универсальные по своему назначению и принципу действия керноскопы КО для скважин диаметром 59–112 мм (Бодрых, Кармальский, 1975). В 1968 г. в связи с прекращением выпуска кернометра КР-2 партией новой техники Уральского ГУ был разработан кернометр ПТ-1 (Бодрых, Кармальский, 1975), который обеспечивает необходимую точность измерений и, в отличие от

кернометра КР-2, имеет хороший доступ для обзора исследуемого образца. В 1969 г. на основании материалов государственных испытаний решением совещания при Управлении геофизических работ Министерства геологии СССР опытно-промышленные образцы керноскопов КО и кернометр ПТ-1 были приняты к серийному производству.

Кроме отмеченных двух типов керноскопов, прошедших промышленные испытания, многие геологические организации разрабатывали керноскопы собственных конструкций: Восточно-Казахстанское ГУ (Геологическое управление) – керноскопический снаряд, Белорусская экспедиция – ориентированный срыв, Бурятское ГУ – двойную колонковую трубу, Волго-Донское ГУ и ГУ центральных районов – штангу-отвес на тросе (Родин, Кичигин, 1977).

Придавая важное значение повышению информативности керна буровых скважин, Министерство геологии РСФСР Приказом от 7 августа 1974 г. № 573 организовало Центральную опытно-методическую партию кернометрии при Северо-Кавказском ГУ, которая в 1976 г. была утверждена в качестве базовой партии по вопросам кернометрии и фотодокументации керна скважин.

Мы приводим эти, естественно устаревшие в современных условиях, сведения с целью сохранения информации, которая может послужить отправной точкой в поисках возможностей создания новых приборов для получения ориентированного керна.

Первый опыт применения кернометрии при изучении дислоцированных толщ был приобретён челкарскими геологами. По инициативе Ю.С. Горюнова и Б.С. Рякина, поддержанной начальником отдела нерудного сырья Министерства геологии КазССР Н.П. Набоковым, на Челкарской структуре с 1963 г. начали проводиться кернометрические работы. Методическое руководство осуществлялось сотрудниками лаборатории кернометрии КазИМСа. Всего с применением кернометрии здесь было пробурено 95 скважин, расположенных на двух небольших участках структуры. М.И. Казанцев (1966) привел фактический материал, показывающий, какие существенные коррективы были внесены по результатам кернометрических работ в представления о структурных условиях галогенных образований этих участков, разбуренных ранее весьма значительным количеством скважин (рис. 7).

Пример Челкара явился определяющим для эльтонских геологов, а также геологов, изучавших структуры Сатимола и Джамантау.

При изучении Эльтонского месторождения этот вид исследований в отличие от челкарского опыта осуществлялся практически с самого начала буровых работ, что, естественно, должным образом сказалось на достоверности выполненных здесь структурных построений. В процессе работ применялись обе конструкции керноскопов: до 1968 г. – К-5, позже – КО. Всего было отобрано 44 образца по 30 скважинам. После 1973 г. кернометрия на Эльтоне не применялась в связи с отсутствием

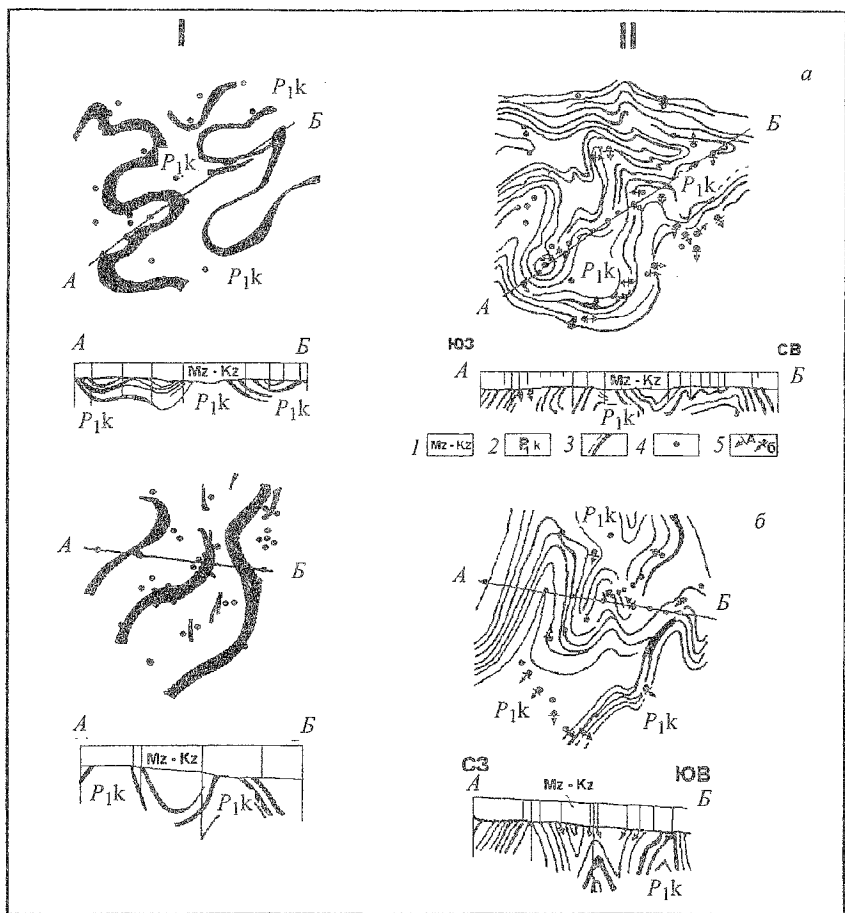


Рис. 7. Челкарская структура (а – 4-й участок; б – 5-й). Схематическая геологическая карта соляного зеркала и геологический разрез (I – выполнен до применения кернометрии; II – по ее результатам (Казинцев, 1966): 1 – образования надсолевого свода и кепрока; 2 – каменная соль; 3 – пласты калийных и калийно-магние-вых солей; 4 – скважины; 5 – элементы залегания пород по данным кернометрии: а – в плане; б – в разрезе

керноскопов. Однако полученные ранее обоснованные представления об общем характере складчатости галогенной толщи соляного массива позволили и в дальнейшем целенаправленно ориентировать буровые работы. Кроме того, с освоением наклонно направленного многозабойного бурения (1977 г.) элементы залегания галогенных пород определялись по

трем точкам путем перебурки четких маркирующих слоев тремя разнонаправленными короткими стволами. В некоторых случаях установлению элементов залегания слоев галогенных пород способствовало также то обстоятельство, что они были перебурены перпендикулярно или близко к этому значительно искривленными скважинами. Используя данные инклинометрии, в таких случаях не составляет труда определить азимутальное направление слоистости.

На приведенных структурных картах Улаганского и Северного участков Эльтонского месторождения (см. рис. 3, 8) показаны все случаи установления элементов залегания галогенных пород (по данным кернометрии, графическим способом по методу 3 точек, по слоистости пород при перпендикулярном ее положении к оси значительно искривленной скважины).

На структуре Джамантау кернометрия была проведена в ограниченном объеме (3 скважины) и только в самом конце работ. Что же касается структуры Сатимола, то здесь этот вид исследований сразу получил широкое применение. В процессе бурения отобрано 179 образцов, позволивших правильно ориентировать поисково-разведочные профили скважин.

Опыт применения кернометрии на Эльтоне был обобщен и опубликован (Свидзинский, 1971₃). Необходимо отметить, что этот вид работ в условиях галогенных комплексов отличается определенной специфичностью, обусловленной, прежде всего, повышенной растворимостью солей. Последнее требует соблюдения большой осторожности по сохранению меток на ориентированном образце при его выбурировании и подъеме из скважины. С этой целью предлагается:

а) перед заключительной операцией – отбором ориентированного образца – на забой подавать небольшое количество глины с целью предохранения образца от разрушения;

б) при выбурировании образца следить за тем, чтобы промывочная жидкость была насыщена легкорастворимыми солями (бишофитом, карналлитом), кроме того, ограничивать проходку до 0,5 – 1 м;

в) применять для взятия образца надежные кернорватели.

Для условий соляных пород особое значение приобретает необходимость дальнейшего совершенствования конструкции керноскопов с целью совмещения операций по фрезеровке забоя, нанесению меток на забой и отбору ориентированного образца.

Для проведения кернометрии необходимо выбирать те части разреза галогенной толщи, которые характеризуются, во-первых, наличием хорошо развитых и четко визуально различимых сезонных слоев ангидрита, а во-вторых, отличающихся слабым проявлением будинажа и плейчатости этих слоев. Разрезы, в которых сохранена и хорошо визуально различима первичная синседиментационная слоистость, получили название *кернометрических* (Свидзинский, 1992).

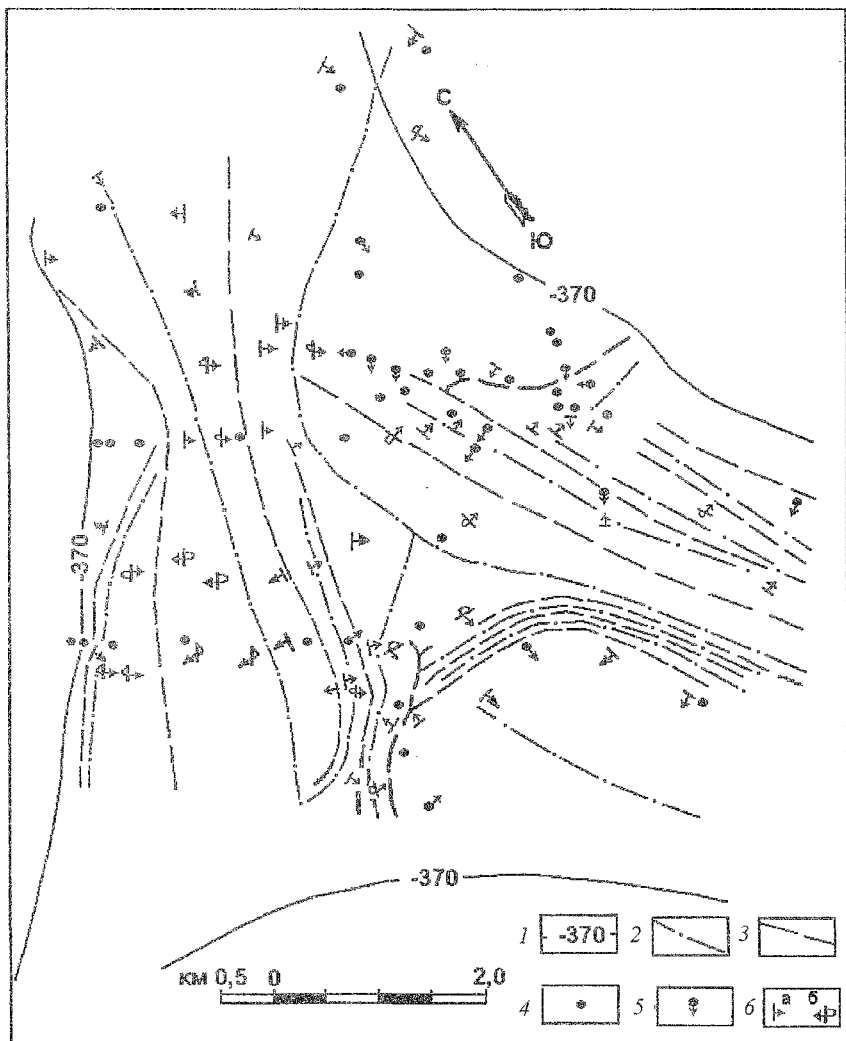


Рис. 8. Эльтонское месторождение. Северный участок. Структурная карта соляного зеркала (Л.В. Аношин): 1 – граница сводовой части купола по изогипсе соляного зеркала – 370 м; 2 – оси антиклиналей; 3 – оси синклиналей; 4 – буровые скважины; 5–6 – элементы залегания пород: 5 – установленные, 6 – предполагаемые (а – нормальное, б – опрокинутое залегание)

7. РАСЧЛЕНЕНИЕ И КОРРЕЛЯЦИЯ РАЗРЕЗОВ ПО СКВАЖИНАМ. СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОЛОНКИ ГАЛОГЕННОЙ ТОЛЩИ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

При стратификации галогенных образований решающая роль принадлежит литологической корреляции разрезов. Это связано с полным отсутствием или весьма незначительным развитием органических остатков и руководящих спорово-пыльцевых комплексов. В основу литологического принципа расчленения и корреляции соленосных комплексов многими авторами (Фивег, 1956; Кореневский, Донченко, 1963; Ермаков и др., 1968; Кислик и др., 1969; Тихвинский, Близеев, 1973; Richter-Bernburg, 1955, 1972) положена ритмостратиграфия – прослеживание определённых ритмопачек, отвечающих отдельным циклам прогрессивного засоления рассолов от стадии низкой солёности (доломит-ангидритовые породы) до высокой (бессульфатная каменная соль и калийно-магниевые образования).

Весьма интересные исследования по стратификации и корреляции разновозрастных галогенных отложений приведены Д.П. Хрущевым (1967, 1978_{1,2}). Они базируются на представлениях о необратимости эволюции солеродных бассейнов, что обуславливает существование неповторимого комплекса признаков, присущих каждой соленосной толще или её подразделам – ритмопачкам. Определение этих признаков и составляет основу метода Д.П. Хрущева. Необратимость эволюции солеродных бассейнов отражается на общем вещественном составе галогенных комплексов, структурно-текстурных особенностях пород, некоторых геохимических признаках, гранулометрическом составе и т.п.

Некоторыми авторами при корреляции разрезов соленосных толщ использовались детальные минералого-петрографические и геохимические исследования пород (Петриченко и др., 1978; Петриченко, 1974; Валяшко и др., 1976; Яржемский, 1978; Жеребцова и др., 1979; Валяшко и др., 1976, Московский, Сиротин, 1979 и др.). Относительно практического значения этих исследований мы полностью разделяем мнение Д.П. Хрущева (1978₂) о том, что они способны подтверждать и углублять существующие генетические представления. Однако в основе расчленения должны лежать признаки визуальные, хорошо распознаваемые при непосредственном изучении месторождений.

В соляном массиве Эльгонского купола, как и во всех других куполах, преимущественно развита каменная соль, вмещающая слои и прослои калийно-магниевых образований, а также доломитовых, ангидритовых и глинистых пород. Кроме того, значительно развиты смешанные породы из перечисленных образований. Названия пород (соответственно количественному соотношению породообразующих минералов) приняты согласно классификации Я.Я. Яржемского (1964). В отношении определения структур пород по размерности кристаллов используется в каче-

стве наиболее удобной классификация В.Н. Щербины (1961): микрозернистая (микрорекристаллическая) структура – величина зёрен (кристаллов) до 1 мм; мелкозернистая (мелкокристаллическая) – 1–3 мм; среднезернистая (среднекристаллическая) – 3–5 мм; крупнозернистая (крупнокристаллическая) – 5–10 мм; гигантозернистая (гигантокристаллическая), или шпатовая, – более 10 мм.

Наиболее распространённой является первичная слоистая текстура солей. Она обусловлена перемежаемостью слоев различной структуры, окраски, послойным распределением примесей и наличием маломощных (0,3–1,5 мм) слоёв ангидрита. Слоистость отражает годовичные и сезонные изменения в процессе осадки солей.

Основное внимание при визуальном изучении галогенных пород, особенно интервалов каменной соли, уделялось установлению характера строения годового ритма или микроритма и специфике его изменения по разрезу. В этом отношении мы руководствовались мнением Л.Н. Ботвинкиной (1965), что «при изучении слоистости хомогенных отложений важно обращать внимание на детали внутреннего строения слоевых элементов (в частности, слоёв и их пачек), а также на их сочетание, последовательность и направленность изменения в породе и в осадочной толще. Очень существенно разграничить седиментационные текстуры от диагенетических и вторичных текстур, связанных с последующими процессами преобразования осадка и породы» (Ботвинкина, 1965, с. 229).

В зависимости от количества основной минеральной примеси – ангидрита, каменная соль разделена на две основные группы: бессульфатную каменную соль, или галитит (содержание ангидрита примерно до 5%), и сульфатсодержащую. В каждой из этих групп проведено более детальное подразделение соли с учётом её текстурно-структурных отличий. При резком увеличении ангидритового материала каменная соль переходит в ангидрит-галитовую породу.

Каменная соль бессульфатная (галитит) – разновидность каменной соли, как правило, отличается светло-серым цветом и крупнокристаллической, шпатовой, реже среднекристаллической структурой. По текстурным признакам галитит подразделяется на массивный и слоистый.

Галитит массивный содержит очень редкие (через 0,5–1 м) одиночные слоёв (до 1 мм) ангидрита, вернее его тонкорассеянной примеси.

Галитит слоистый отличается от галитита массивного среднеслоистой текстурой, обусловленной наличием одиночных слоёв ангидрита через интервал 2–5–10 см. В качестве разновидности слоистого галитита выделен «метасильвинит», который характеризуется трёх- и четырёхчленным строением микроритма, аналогичным сильвинитовому:

а) одиночный слой (0,1–1 мм) ангидрита тонкокристаллического или его тонкорассеянной примеси;

б) прослой (0,5–2 см) галита бледно-розового, бледно-красного, реже бесцветного мелко-, среднекристаллического;

в) прослойк (0,5–2,5 см) галита бесцветного крупнокристаллического;
г) прослойк (0,5–1,5 см) галита бледно-красного мелкокристаллического, иногда содержащего тонкорассеянный ангидритовый материал.

Общая мощность микроритма 2–3 см, реже 4–5 см. Часто «в»-элемент ритма выпадает, а розовая окраска сохраняется только в верхней половине «г»-элемента в виде оторочки под вышележащим ангидритовым слоем. При полном четырёхчленном строении ритма в галитовом прослойке «в»-элемента иногда появляется вкрапленность мелких ксеноморфных кристаллов сильвина, увеличение содержания которых приводит к ритмично-слоистой сильвин-галитовой породе. Эти факты, а также почти повсеместная приуроченность метасильвинитов к подошве пластов калийно-магниевого солей позволяет рассматривать эти отложения как промежуточную, переходную разность от каменной соли к сильвинитам.

Каменная соль сульфатсодержащая – разновидность каменной соли, имеет обычно серый цвет и мелкокристаллическую структуру. По текстурным признакам она подразделяется на ритмично-слоистую и «лодочковую».

Каменная соль ритмично-слоистая характеризуется обычно четкой слоистой текстурой, обусловленной её микроритмичностью. Примечательно, что в строении микроритма почти повсеместно выделяется два элемента, названных сульфат-галитовым («а»-элемент) и галитовым («б»-элемент). Преимущественно весь ангидритовый материал в виде отдельных слоев и примеси, а также примесь глины приурочены к сульфат-галитовому элементу ритма, а галитовый элемент представлен чистым мономинеральным галитом. Общая мощность микроритма при примерно равных интервалах «а»- и «б»-элементов составляет 4–12 см.

В сульфат-галитовом элементе ритма сезонные слои ангидрита группируются в отдельные системы, наиболее характерными из которых являются: «пачка» – тонкослоистый многолетний прослой ангидрита мощностью 0,5–1,5 см; «пакет» – чередование сезонных слоев ангидрита и прослоев (1–3 мм) галита; «пакетовидная серия» – чередование сезонных слоев ангидрита и прослоев (3–10 мм) галита; «простая серия» – мощность прослоев каменной соли между сезонными слоями ангидрита более 1 см.

В том случае если в слоистой каменной соли не удастся выделить микроритмы, так как она состоит как бы из одного сульфат-галитового элемента, то вместо наименования пакет, пакетовидная и простая серия применяются соответствующие по Я.Я. Яржемскому: листоватая, тонкослоистая и среднеслоистая текстуры.

Характерной разновидностью ритмично-слоистой каменной соли является так называемая «очковая соль», отличающаяся резко выраженной разнокристаллической структурой. Среди общей мелкозернистой массы, реже среднезернистой выделяются редкие порфиридные линзообразные прозрачные кристаллы галита, ориентированные по наслоению.

Для «лодочковой» каменной соли в общем характерно зональное (перистое) строение кристаллов галита, отороченных неравномерно рас-

сеянным ангидритовым материалом. Признаки первичного скелетно-зонального строения у зёрен и кристаллов галита проявляются по-разному. Наряду с «ёлочками» и «лодочками» присутствуют и слабо различимые следы в виде строго ориентированных газово-жидких включений. В отличие от ритмично-слоистой каменной соли «лодочковая» имеет иногда трёхчленное строение микроритма: «а» – сульфат-галитовый элемент (0,5–2 см, реже 4 см); «б» – «лодочковый» (2–8 см, реже 12 см) и «в» – галитовый (1–8 см). Основной минеральной примесью в «лодочковой» каменной соли, так же, как и во всех других её разновидностях, является ангидрит, содержание которого достигает 9–12%. При этом в «а»-элементе он образует сезонные слойки, тогда как в «б»-элементе располагается между кристаллами галита в виде цемента, придавая внешнему облику породы пятнистый и петельчатый вид.

Ангидрит-галитовая порода по текстурным признакам в принципе аналогична слоистой каменной соли, но в отличие от неё содержит более значительную примесь ангидритового материала (15–50%) в виде частых многолетних пачек и сезонных слойков.

Все отмеченные текстурно-структурные особенности (литологические разновидности) каменной соли, слагающей Эльтонский соляной массив, иллюстрируются фотографиями образцов керна в работе С.А. Свидзинского (1992).

Кроме выделения минералогических и литологических особенностей галогенных пород в процесс изучения керна материала, большое значение для корреляции разрезов имеет использование материалов скважинной геофизики. Радиоактивность пород, содержащих примесь калийных минералов, резко возрастает, и по характеру гамма-каротажной кривой часто удается распознавать даже те отдельные калийсодержащие слои, которые трудно диагностируются визуально в керне. Сопоставление калиеносного горизонта по геофизическим реперам, соответствующим маркирующим пластам 5, 6, 7 (показаны номерами в кружочках), приведено на рис. 9. Пласт 5 отличается чередованием прослоев каменной соли с прослоями сильвин-галитовой или карналлитовой породы. В его составе выделяется 19 прослоев, из которых чётные сложены каменной солью, а нечётные – сильвинно-галитовой и карналлито-галитовой породами. По характеру гамма-активности этот пласт разделён на три своеобразные части или слоя (а, б, в). Нижний слой (а) содержит четыре прослоя калийных солей, преимущественно сильвино-галитового состава. Эти прослоя, отмечающиеся на гамма-каротажной диаграмме тремя сравнительно слабыми максимумами (прослоя 1, 3, 5) и весьма активным четвёртым (прослой 7), не отличаются выдержанностью в разрезе. При этом выпадение из разреза происходит в строгом порядке снизу вверх при почти повсеместном сохранении самого верхнего и наиболее радиоактивного прослоя 7. Средний слой (б) на кривой ГК выражен тремя сравнительно слабыми максимумами, из которых средний наименее интенсивный и не

всегда выдержанный. Эти максимумы соответствуют прослоям 9, 11 и 13, сложенным сильвино-галитовой породой. Слой «в» объединяет три наиболее мощных и выдержанных прослоя (15, 17, 19) галит-карналлитовой породы, характеризующихся тремя хорошо выраженными примерно равнозначными максимумами на гамма-каротажной диаграмме.

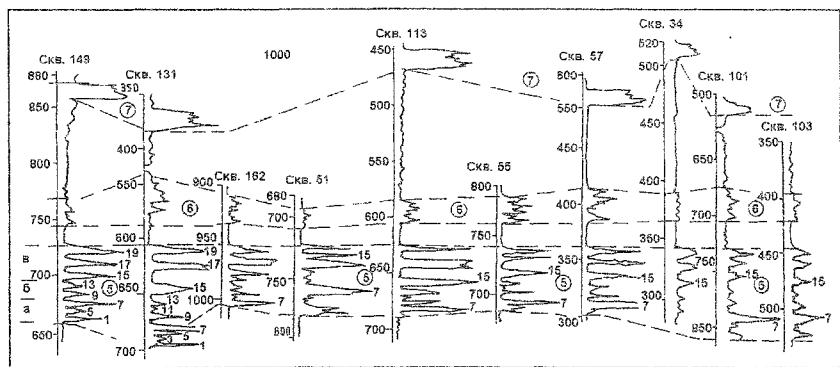


Рис. 9. Эльтонское месторождение. Корреляция разрезов маркирующих калиеносных пластов 5, 6 и 7 по геофизическим реперам (гамма-картаж – ГК)

Располагающийся выше геофизический репер 6 отличается своеобразной зубчатой формой и меньшей гамма-активностью. Он соответствует пласту каменной соли с примесью карналлита.

Пласт 7, сложенный карналлитовой или карналлит-галитовой породой, отображается на диаграмме ГК соответствующим по форме и активностью максимумом.

Таким образом, как в сочетании, так и обособленно (особенно пласт 5) рассмотренные геофизические реперы имеют своеобразный неповторимый облик, позволяющий чётко и надёжно сопоставлять эти пласты в разрезе, а также определять прямой или обратный порядок их залегания при вскрытии скважиной. Кроме того, визуально по керну хорошо распознаются не только расположенные ниже по разрезу характерные образования галопелит-ангидритового и продуктивного горизонтов, но и любого интервала вмещающей и залегающей выше каменной соли. Надёжная стратификация и корреляция эльтонского разреза позволили во всех поисково-разведочных профилях обоснованно установить характер складчатости галогенной толщи.

Примеры определения структурных условий галогенных пород с учётом как углов их залегания, так и литолого-фациальных (в данном случае геофизических) коррелятивных отличий приведены на рис. 10. Необходимо отметить, что и на схеме сопоставления (см. рис. 9), и в приведенных разрезах по скважинам (см. рис. 10 а, б) использованы наибо-

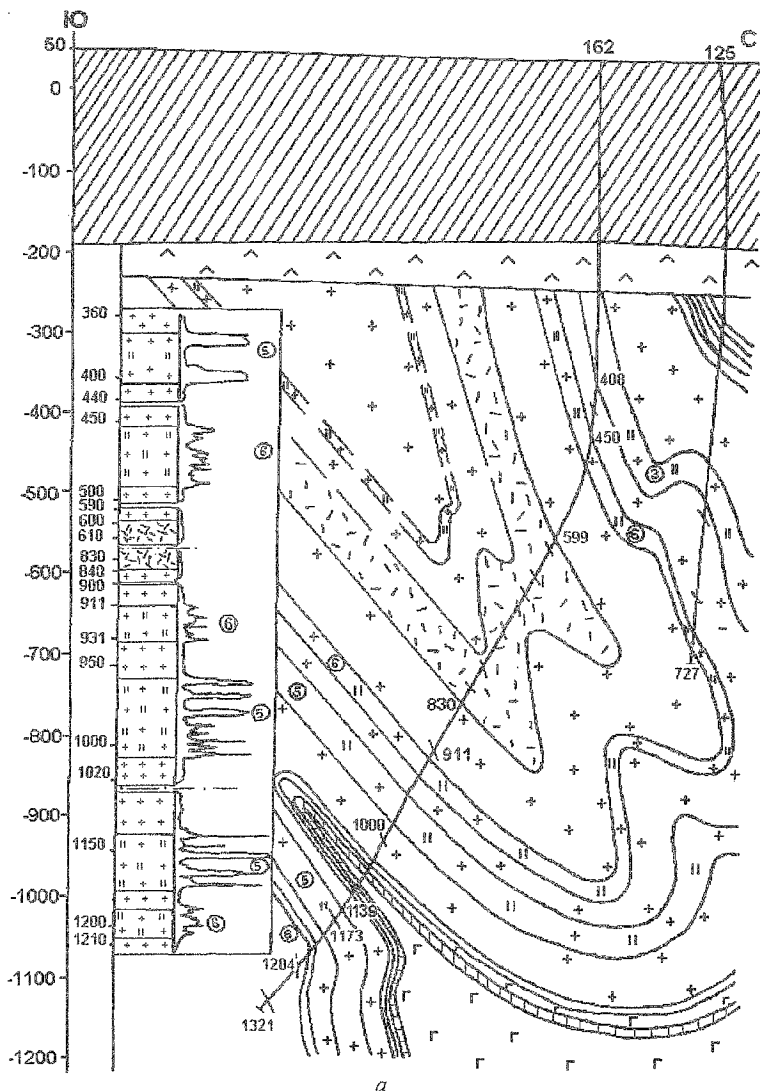


Рис. 10. Эльтонское месторождение. Примеры корреляции разрезов скважин с использованием гамма-картажных характеристик пород: а – по скважинам 162 и 125: 1 – образования надсолевого свода; 2 – гипс-ангидритовые породы кепрока; 3–4 – каменная соль сульфатсодержащая: 3 – ритмично-слоистая, 4 – «лодочковая»; 5 – бессульфатная (галитит); 6 – верхний продуктивный пласт; 7 – калиеносные маркирующие пласты; 8 – диаграмма ГК; 9–10 – оси складок: 9 – синклинали, 10 – антиклинали

лее чёткие и полные гамма-каротажные характеристики маркирующих пластов. Обычно же скважинами вскрываются лишь отдельные их части, иногда в наложенном (разные крылья складок) положении. Кроме того, большое влияние на облик каротажных диаграмм оказывает пересечение маркирующих пластов или отдельных их частей под различными углами. В связи с этим зачастую приходится проводить дополнительную, весьма кропотливую, работу с керном по определению структурного и стратиграфического положения того или иного интервала разреза, вскрытого скважинами.

В настоящем разделе мы охарактеризовали общие позиции установления складчатости в поисково-разведочных профилях. Каждый профиль и каждая скважина в профиле, даже в пределах единого соляного массива, требуют конкретного подхода и конкретного решения структурных задач. Соответственно геологи, выполняющие такие работы, должны научиться решать эти задачи с учётом структурных условий объектов и коррелятивных возможностей разрезов.

Выделение разновидностей галогенных образований, особенно каменной соли, которые прослежены на всей изученной территории сводовой части Эльтонского купола и взаимоувязаны по всем пробуренным здесь скважинам, а также использование коррелятивных возможностей скважинной геофизики позволили составить надёжно обоснованный сводный нормальный разрез мощностью порядка 1400 м. В разрезе (рис. 11) по совокупности признаков выделено 5 горизонтов (снизу вверх): нижний галитовый, продуктивный, галопелит-ангидритовый (антраконитовый), калиеносный и верхний галитовый. Расчленение горизонтов выполнено в соответствии с рекомендациями Л.Н. Ботвинкиной (1965) и А.А. Иванова (1966) в следующем порядке: пачка, слой, прослой, прослой, слоек. Для выделения продуктивных залежей калийных солей, а также маркирующих калиеносных интервалов между звеньями «пачка-слой» предусмотрено дополнительное подразделение – «пласт».

В строении сводовой части Эльтонского солянокупольного массива до глубины 1200 м принимают участие в основном образования трех горизонтов: продуктивного, галопелит-ангидритового и калиеносного. Они вскрыты в той или иной мере всеми пробуренными здесь скважинами (120 скважин). Породы нижнего галитового горизонта в самой верхней части встречены всего несколькими скважинами. Последнее объясняется тем, что ниже основного продуктивного пласта 2 скважины, как правило, не углублялись. Ниже приводится характеристика вскрытой галогенной толщи Эльтонского купола (см. рис. 11).

Нижний галитовый горизонт – I. В изученной самой верхней части горизонт представлен своеобразной каменной солью серой и светло-серой с желтоватым и оранжевым оттенками мелкокристаллической, тонко-, среднеслоистой. Слойки и прослойки (2–4 мм) ангидрита развиты

через интервал 0,5–1 см, реже – 2,5–3 см. В верхней части разреза отмечается вкрапленность карналлита.

Продуктивный горизонт – II. В составе горизонта развито 4 калиеносных пласта, 2 из которых (второй и третий) являются продуктивными. Сложены они обычно в нижней своей части сильвинитами (слой «а»), а в верхней (слой «б») – карналлитовыми, кизеритовыми и бишофитовыми породами. Такой порядок отображает нормальную седиментационную последовательность калийно-магниевого солеобразования из прогрессивно осолоняющихся рассолов (Валяшко, 1962). Вмещающая каменная соль горизонта, как правило, представлена крупнокристаллическим, реже среднекристаллическим массивным, иногда слоистым галитом с прослоями метасильвинитов, приуроченных к подошве продуктивных пластов.

Галопелит-ангидритовый горизонт – III. Рассматриваемый горизонт является продуктом седиментации значительно распреснённого бассейна в связи с притоком слабосоленых вод, привнесших значительное количество терригенного материала. Этот материал выпал в осадок, образовав нижний галопелитовый слой «а», сложенный соляным мергелем, переходящим вверх по разрезу в шпатовую каменную соль со значительной примесью тонкорассеянного глинистого материала.

Расположенный выше слой «б» представлен в основном ангидритовыми, доломитовыми и доломит-ангидритовыми тонкослоистыми породами.

Слой «в» сложен галит-ангидритовыми и ангидрито-галитовыми породами. Примечательно, что во всех без исключения случаях количество ангидритового материала в слое «в» постепенно уменьшается по направлению снизу вверх.

Калиеносный горизонт – IV. В составе горизонта развито 4 калиеносных пласта, не имеющих промышленного значения, однако обладающих исключительно яркой и выразительной корреляционной способностью (см. рис. 9, 10). Характерным показателем нормального генетического положения пласта 5 может служить постепенное уменьшение сильвинитовой минерализации вверх по разрезу и соответственное увеличение карналлитовой, а пласта 8 – появление в верхней его части бишофит-карналлитовых и бишофитовых пород. Кроме того, по данным геохимии, в этом же направлении растёт величина бромхлорного отношения в пласте 5 как в прослоях каменной соли, так и в калиеносных интервалах.

Каменная соль, развитая в составе калиеносного горизонта, не является однотипной. На генетически различных интервалах располагаются своеобразные её разновидности, различающиеся по текстурно-структурным признакам.

Каменная соль пачки А обладает разнокристаллической структурой. Причем в ненарушенных будинажом участках можно видеть, что крупнокристаллическая, или шпатовая, соль располагается отдельными про-

слоями в массе мелко- или среднекристаллической соли. По-видимому, в процессе тектоногенеза эти прослои, как более «жесткие», будинируются с образованием вытянутых по наслоению «обрывков» или «очков» галита, а порода приобретает неповторимую, присущую только этой пачке «очковую» текстуру.

Текстурный облик каменной соли калиеносного пласта 5 аналогичен каменной соли вышележащей пачки Б. Эта разновидность отличается хорошо выраженным строением микроритмов, сульфат-галитовый элемент которых представлен «пакетовидными сериями», реже – «пакетами».

Калиеносный пласт 6 сложен характерной молочно-белой каменной солью мелкокристаллической, слоистой, с весьма незначительным содержанием ангидритового материала. По всему слою наблюдается вкрапленность карналлита в виде отдельных ксеноморфных кристаллов, приуроченных к подошве слоев ангидрита, т.е. к кровле микроритмов.

Каменная соль пачки В подразделяется на 3 слоя, каждый из которых имеет своеобразный текстурный облик. В слое «а» она отличается весьма четким микроритмичным строением, причём в сульфат-галитовом элементе ритмов ангидритовые слои собраны в основном в пачки.

В слое «б» развита «лодочковая» каменная соль, а слой «в» характеризуется каменной солью со сложным строением сульфат-галитового элемента микроритмов: слои ангидрита сгруппированы в основном в тонкие пачки (2–3 слойка), которые, в свою очередь, образуют пакеты или пакетовидные серии мощностью 1–2,5 см.

Пачка Г разделяется на 2 слоя каменной соли. Слой «а» – слоистая разновидность соли, которая характеризуется сложным строением сульфат-галитового элемента микроритма. Ангидритовые слои здесь группируются в пачки, пакеты (0,3–0,5 см), реже – в пакетовидные и простые серии, находящиеся в различных комбинациях.

В слое «б» развита лодочко- или очкоподобная каменная соль серая разнокристаллическая. Ангидритовый материал образует одиночные слои, пачки и пакетовидные серии (невыдержанное строение микроритма). Одиночные крупные или средние, вытянутые по наслоению кристаллы галита коричневого цвета отличаются зональным строением, количество их постепенно увеличивается вверх по слою.

Верхний галитовый горизонт – V. В составе горизонта выделяется 4 пачки. В основании каждой из них располагается ангидрит-доломитовая или ангидритовая порода, которая вверх по разрезу сменяется каменной солью, содержащей преимущественно в верхней части примесь калийно-магневых солей (пласты 9–11). Каменная соль в калиеносных интервалах отличается массивной, реже слоистой текстурой и весьма незначительной примесью ангидритового материала.

Каменная соль пачки А подразделяется на 3 слоя. Нижний слой «а» образован довольно мощной толщей «лодочковой» каменной соли ритмично-слоистой. «Лодочковые» прослои (1,5–2 до 30–40 см) сложены

средними и крупными кристаллами галита, имеющими чёткое зональное строение и отороченными ангидритовым материалом. Количество ангидрита вверх по слою постепенно уменьшается до почти полного исчезновения в вышележащем слое «б». В средней части слоя «а» постепенно появляется бледно-коричневый оттенок и незначительная примесь карналлита, фиксируемая соответствующими значениями диаграмм ГК и НГК. В верхнем слое «в» располагается массивный галитит.

Пачка Б сложена в средней части каменной солью серой мелко-, среднекристаллической, ритмично-слоистой. Сульфат-галитовый элемент ритма (0,3–3 см) образован значительной примесью ангидритового материала, рассеянного между кристаллами галита или собранного в невыдержанные пачки. Вверх по слою мощность сульфат-галитовых прослоев постепенно уменьшается, и каменная соль очищается от ангидритового материала.

В пачке В выделяется 2 слоя каменной соли. Нижний «б» представлен «лодочковой» её разновидностью. Характерным в строении этого слоя является то, что прослой (3–5 м) каменной соли мелкокристаллической, ритмично-слоистой, буровато-серой и серой, содержащей ангидритовый материал между зонально-зернистыми кристаллами галита в сульфат-галитовом элементе ритма, чередуются с прослоями (0,5–2 м) галитита светло-серого средне-крупнокристаллического, массивного. В кровле слоя (3 м) отмечается значительная гнездообразная примесь розового карналлита.

Слой «в» пачки В представлен каменной солью беловато-серой и серой, мелко-, среднекристаллической, слоистой, с одиночными слойками ангидрита через интервал 1–3–5 см. В подошве слоя располагается прослой (4,8 м) каменной соли матово-белой, крупнокристаллической, с гнездами и прожилками карналлита. В кровле (3,2 м) залегает прослой галитита светло-серого с коричневатым оттенком мелкокристаллического.

Пачка Г вскрыта в нижней части и представлена каменной солью лодочкоподобной серой и темно-серой мелко-, среднекристаллической с ангидритовым материалом, развитым в виде оторочки между кристаллами галита.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие общие выводы относительно закономерностей строения изученной части галогенной толщи Эльтонского солянокупольного массива. Во-первых, эта толща характеризуется ярко выраженным ритмичным строением разного порядка. Ритмичность проявляется как в пределах отложений одного года (микроритмичность), так и более длительных многолетних периодов соленакпления. Своеобразие строения микроритмов в каждом конкретном интервале галогенной толщи, особенно каменной соли, в совокупности с некоторыми другими текстурно-структурными признаками пород позволяет использовать их в качестве надёжных коррелятивных критериев

для любой части разреза. Большое значение в этом отношении имеет тот факт, что описанные выше текстурно-структурные особенности стратиграфически различных интервалов разреза галогенной толщи Эльтонского купола являются преимущественно синседиментационными (первичными). Они довольно хорошо сохранились в условиях солянокупольного тектоногенеза, весьма слабо отреагировав на резкое увеличение степени динамометаморфизма.

Зависимость текстурно-структурного облика галогенных пород от их генетического уровня, а не от структурно-тектонического положения показали на примере Верхнекамского бассейна В.А. Верховцев и В.И. Колпин (1971). В этом отношении мы придерживаемся точки зрения тех исследователей (Вахрамеева, 1956; Кореневский, Воронова, 1966; Иванов, Воронова, 1972), которые, в отличие от В.Н. Дубининой (1951), рассматривают крупнокристаллический галит не как результат последующей собирательной перекристаллизации мелкозернистого галита скелетно-зонального строения, а как продукт определённых условий сингенеза и раннего диагенеза, способствовавших медленному росту кристаллов.

При описании разреза Эльтонской структуры мы иногда отмечали характерные признаки отдельных его частей, по которым надёжно устанавливается генетическая последовательность соленакопления (строение галопелит-ангидритового горизонта, изменение минерального состава калиеносных пластов 5 и 8). Учитывая большое значение этого фактора для определения характера дислоцированности галогенных пород солянокупольных массивов, остановимся более детально на его диагностических возможностях по всему разрезу. В общем любой завершённый или незавершённый этап – ритм галогенеза – находит отражение в строении соответствующей ритмопачки. Набор пород и их генетический порядок в пределах ритмопачек, как правило, закономерен: в нижней части располагаются продукты самых низких – первоначальных стадии ступенчатого рассолов – доломит-ангидритовые породы; выше залегает каменная соль сульфатсодержащая, постепенно очищающаяся от ангидритового материала вверх по разрезу; третья (условно) часть ритмопачки представлена обычно бессульфатной каменной солью (галититом), вмещающей на наиболее высоких генетических уровнях самостоятельные слои, прослои или примесь калийно-магниевого пород и минералов. Такой генетический порядок соответствует основам теории галогенеза (Валяшко, 1962) и сомнений не вызывает.

Рассмотрим с этих позиций Эльтонский разрез (см. рис. 11). Образование нижнего галитового горизонта I являются вторым (средним) членом ритмопачки, а продуктивного II – третьим (верхним). Галопелит-ангидритовый горизонт III соответствует нижней части следующей ритмопачки, которая завершается образованием калиеносного пласта 8. Верхний галитовый горизонт объединяет 4 ритмопачки: пачка А с ангидритовым слоем в основании и калиеносным пластом 9 в кровле, пачки Б

и В с соответствующим набором пород и пачка Г, представленная только нижней и средней частью.

Таким образом, в изученном разрезе выделяется 6 ритмопачек, соответствующих такому же количеству завершённых ритмов галогенеза. При этом самая нижняя ритмопачка вскрыта в верхней части, а верхняя – в нижней. В некоторых ритмопачках выделяются ритмы более низких порядков с двухчленным строением (слой каменной соли и пласт калийно-магниевого солей). Так, в продуктивном горизонте II можно выделить 2 таких ритма, завершающихся образованием продуктивных пластов 2 и 3, а в калиеносном – 4 (пачки А, Б, В, Г.). Пласт 5 подразделяется на ритмы ещё более низких порядков (прослой каменной соли и калийно-магниевого солей).

Общая направленность галогенеза в пределах всех выделяемых ритмов однозначная, соответствующая стадиям процесса поступательного прогрессирующего испарения и сгущения седиментирующих рассолов, прерывающимся резким их рассолонением в связи с вторжением слабоминерализованных вод. Прогрессирующее сгущение рассолов отражается на постепенном выпадении в осадок хемотропных пород в порядке, обратном их растворимости: доломит – ангидрит – каменная соль – сильвинит – карналлит – кизерит – бишофит. Резкое разбавление рассолов приводит к образованию отдельных многолетних слоев доломито-ангидритовых пород. Процесс галогенеза как бы возвращается к начальной отправной точке, после чего начинается новая стадия постепенного сгущения рассолов.

Учитывая, что до самого последнего времени еще сохранились весьма осторожные мнения относительно возможности составления сводных нормальных колонок галогенных образований солянокупольных структур, в частности Эльтонской (Корневский, 1978), мы привлекли для обоснования надёжности построений также комплекс объективных лабораторных данных. Кроме результатов химических анализов, подтверждающих закономерное направленное изменение в разрезе галогенной толщи содержания отдельных минеральных компонентов, использовались данные минералого-петрографических и геохимических исследований, выполненных в большом объёме и по всему разрезу сотрудниками Московского, Ростовского и Саратовского университетов (И.К. Жеребцовой, В.С. Деревягиным, Г.А. Московским, Н.М. Седлецкой, А.С. Макаровым и др.) под руководством видных исследователей М.Г. Валяшко, В.И. Седлецкого, К.М. Сиротина. Основное внимание в процессе исследований уделялось характеру парагенетических ассоциаций минералов, изменению содержания брома и величины бромхлорного отношения в разрезе пачек каменной соли и пластов калийно-магниевого пород, поведению лития, стронция, рубидия, калия и натрия в сульфатно-карбонатных и глинистых породах; составу и изменению по вертикали нерастворимых примесей, установлению физико-химических условий седиментации в

солеродном бассейне и возможности использования особенностей морфологии фазового и химического состава включений в минералах солей для целей расчленения и корреляции разрезов и т.п. В результате были установлены особенности состава первичной рапы солеродного бассейна и выявлены существенные её различия для всех выделенных в разрезе литостратиграфических горизонтов, изучены особенности генезиса и формирования соляной толщи в целом и отдельных её подразделений; установлены различные стадии накопления галита, доказано нормальное формирование отдельных калиеносных пластов, в частности карналлитовых, при прогрессирующем испарении рапы бассейна, иногда завершающихся садкой бишофита, выявлен первичный генезис большинства сильвинитовых пород и мн. др. Все эти данные, изложенные в многочисленных опубликованных работах (Деревягин, Седлецкая, 1978; Московский и др., 1977, 1978; Московский, Сиротин, 1979, 1981; Сиротин, Московский, 1979; Жеребцова и др., 1979; Деревягин и др., 1981), достаточно убедительно доказывают правильность выполненных на Эльтоне литолого-стратиграфических построений.

Мы полагаем, что описанные выше принципы литостратиграфического изучения соленосной толщи Эльтонской структуры применимы к галогенным комплексам всех других солянокупольных объектов, по крайней мере, Прикаспийской впадины. При изучении керна скважин, пробуренных на Челкарском куполе, нами были обнаружены типичные галититы, метасильвиниты, тонкослоистые доломит-ангидритовые породы, ангидрит-галитовые породы, «лодочковая» каменная соль и некоторые другие разновидности пород, на Барханной структуре – «лодочковая» каменная соль, чёрный глинистый галитит, на Сатимоле – галитит.

8. УСТАНОВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ ВЫЯВЛЕННЫХ ПРОДУКТИВНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ ПРОФИЛЯХ (ВКРЕСТ ПРОСТИРАНИЯ)

Отмеченные выше (разд. 6) условия успешного применения при изучении солянокупольных массивов кернометрии являются определяющими и в части выбора методов структурных исследований. Преимущественное сохранение в интенсивно дислоцированных галогенных комплексах первичной сезонной слоистости, визуально проявляющейся, прежде всего, за счет наличия ангидритовых слоев и прослоек в микроритмах, преобладающее развитие подобной, а не дисгармоничной складчатости, отсутствие или незначительное проявление дизъюнктивных нарушений обуславливают определённый структурный порядок, определяющий существование познаваемых структурных закономерностей (Свидзинский, 1992).

Одним из приемов структурных исследований, использованных на Эльтоне, является способ построения разрезов с помощью биссектрис

(Свидзинский, 1969), разработанный для складчатых пластовых месторождений В.И. Скоком (1933) и с успехом применяемый в настоящее время при разведке месторождений угля. Метод биссектрис заключается в приёмах реконструкции геометрии складки, которая при пересечении ее скважиной характеризуется различными по величине углами падения на разных глубинах. Простое продолжение на разрезе замеренных по керну углов падения, в случае их изменчивости на небольших интервалах, приводит зачастую к выклиниванию пластов и тем искажает структурные построения. Использование метода биссектрис позволяет не задаваться заранее выбранной величиной расстояний между скважинами в профиле, а устанавливать эти расстояния в зависимости от условий залегания пород, выявленных пробуренными скважинами.

На отстроенную в определенном профиле с учетом результатов инклинометрии вертикальную проекцию скважины наносятся тщательно замеренные на керне по сезонным слоям ангидрита углы падения пород (где это возможно). Если величины этих углов выдерживаются на больших интервалах (100 и более метров), их значения можно фиксировать для верхней и нижней границ этих интервалов. При необходимости, если профиль расположен не строго вкострости простирания пород, в истинные величины углов залегания вносится соответствующая поправка на расхождение между простиранием этих слоев и линией их пересечения (Буялов, 1955, с. 238).

На приведенном в качестве примера разрезе (рис. 12) показаны вспомогательные линии, объясняющие в общих чертах принцип построения разрезов с помощью биссектрис. Так, линии I-I, II-II, III-III (скв. 26) соответствуют зенитным направлениям напластований галогенных слоев, замеренным на керне. Линии А-А, Б-Б, В-В являются перпендикулярами, восстановленными к отмеченным линиям напластований. Каждая пара смежных перпендикуляров делится биссектрисами а-а, б-б. Выше биссектрисы а-а линии напластований изменяют свое направление соответственно направлению линии I-I; между биссектрисами а-а и б-б — соответственно направлению линий II-II и т.д. Первой в рассматриваемом профиле была пробурена скв. 26. Графические построения по этой скважине позволили определить место для заложения скв. 43 с целью вскрытия маркирующих слоев и пробурки основной калийной залежи до глубины 1200 м. Подсечение маркирующих пластов и выясненная структурная обстановка в призабойной части скважины позволяют уверенно трассировать залежь по падению. Вскрытие залежи скважиной не состоялось в связи с аварией. По восстановлению маркирующие пласты были встречены у соляного зеркала скв. 21, 23, 25.

Необходимыми условиями применения своего метода В.И. Скок считал следующие:

1) мощность пластов пород на рассматриваемом участке остается постоянной, и пласты залегают под одинаковыми углами (гармоническая складчатость);

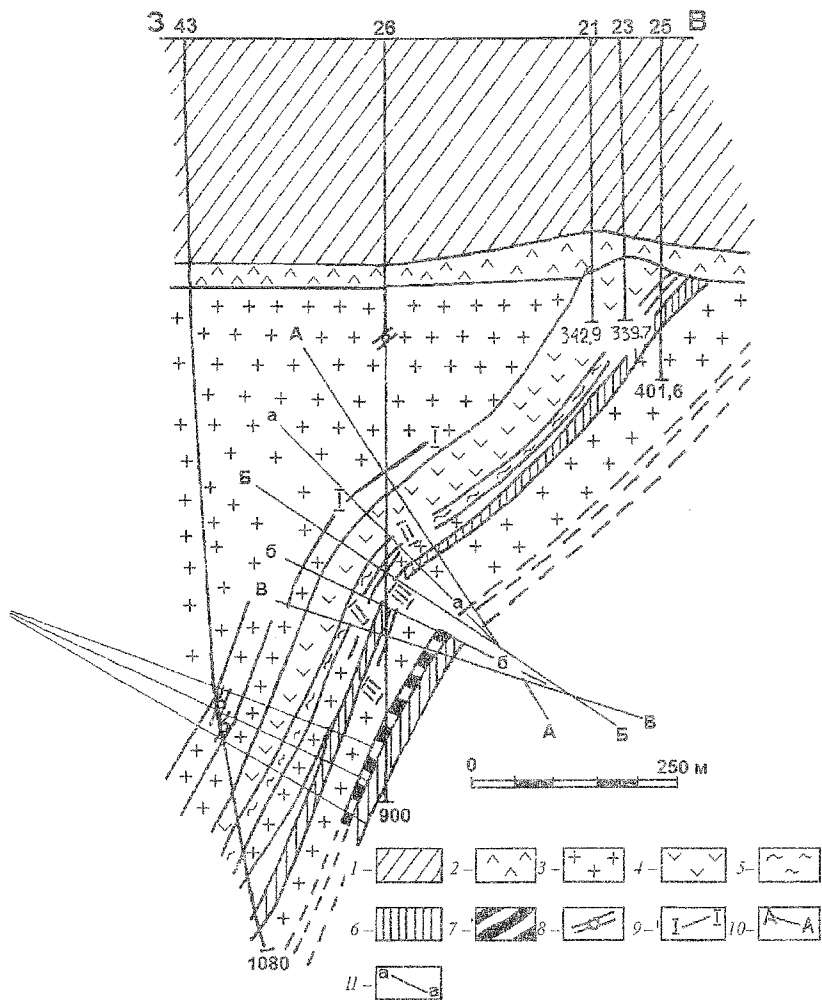


Рис. 12. Эльтонское месторождение. Пример построения геологического разреза по методу биссектрис: 1 – образования надсолевого свода; 2 – гипс-ангидристые породы кепрока; 3 – каменная соль; 4 – образования галопелит-ангидритового горизонта; 5 – соляная глина; 6 – карналлитовая порода; 7 – сильвинит; 8 – кернометрический замер; 9 – линии напластования, определенные по ангидритовым прослойкам в керне; 10 – перпендикуляры, восстановленные к линиям напластования; 11 – биссектрисы, разделяющие каждую пару смежных перпендикуляров

2) изменение углов падения пород происходит постепенно, без скачков, что является верным для участков без разрывов сплошности и без резких остроугольных разломов.

Мы, естественно, отдаем себе отчет в том, что в солянокупольных структурах не могут четко обеспечиваться эти условия. Так, складчатость здесь не гармоническая, а подобная, допускающая довольно значительные изменения мощностей галогенных слоев (утонение на крыльях и раздувы в сводовых частях антиклиналей). Кроме того, при пересечении скважиной резкой изоклинальной складчатости будет нарушено и второе условие. Соответственно применение метода биссектрис для дислоцированных галогенных образований не должно рассматриваться в качестве абсолютного установления внутренней складчатости. Этот способ позволяет как бы намечать структурную канву в разрезе каждой скважины и в целом по профилю. Выяснение характера дислоцированности пород осуществляется на этой «канве» с помощью надежной стратификации и корреляции разрезов с установлением в каждом конкретном случае прямого или обратного порядка напластования. Сущность этого вида исследований приведена в разд. 7.

9. ВЗАИМОУВЯЗКА ЗАЛЕЖЕЙ МЕЖДУ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫМИ ПРОФИЛЯМИ (ПО ПРОСТИРАНИЮ)

Главными критериями при взаимоувязке залежей по простиранию, т.е. между поисково-разведочными профилями скважин, являются выясненное в процессе работ общее простирание складчатости и строение самих складок (их конфигурация, степень сложности, группировка, направление осей, амплитуды, усложнение складчатостью 2-го, 3-го и т.д. порядков и т.п.) Весьма успешно эта задача решена нами при изучении Эльтонского месторождения калийных солей (Свидзинский, 1992). Здесь в разрезе продуктивного горизонта выделяется 2 пласта калийных и калийно-магниевого солей, имеющих промышленное значение: средний или основной (пласт 2) и верхний (пласт 3). Продуктивные пласты залегают согласно с вмещающей каменной солью и, так же как и последняя, интенсивно дислоцированы. На соляное зеркало залежи выходят под различными углами (от 10–20° до 80–85°) как в периферийной зоне соляного массива, так и в его центральной части. Контуры выходов в основном согласуются с простиранием структуры в целом (рис. 13). Разрывных нарушений с заметными смещениями в галогенной толще не обнаружено.

Четкая стратификация разреза галогенных пород, основанная на выделении надежных маркирующих пластов по всему разрезу (разд. 7), позволила установить характер внутренней складчатости соляных образований купола. Эти отложения смяты в систему пликативных складок, в основном подразделяемых на два вида:

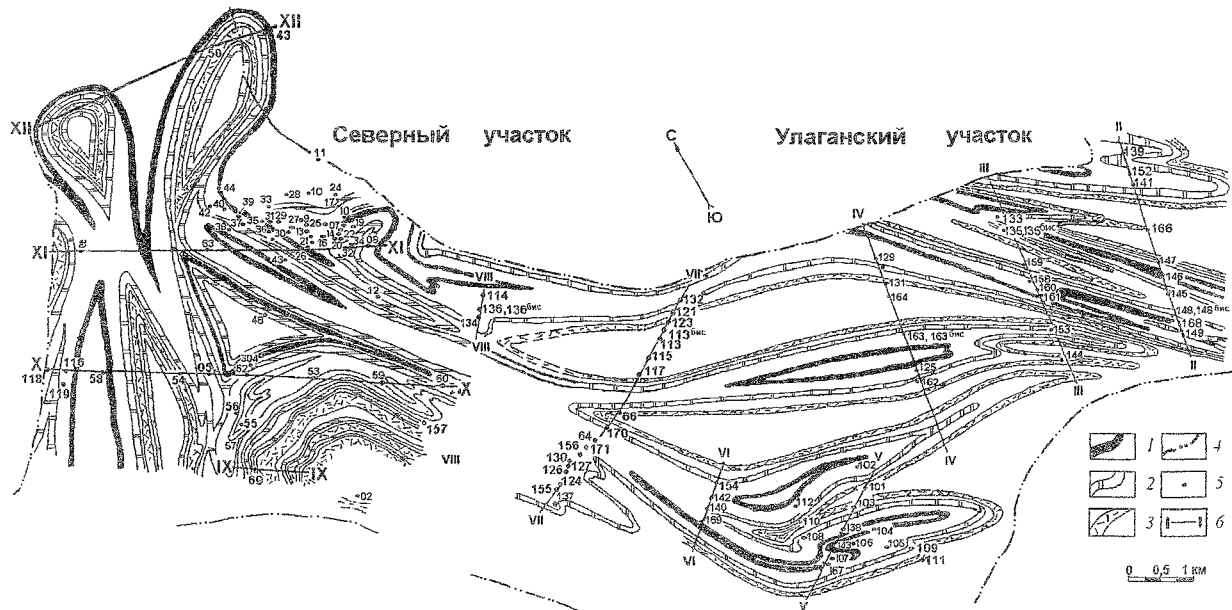


Рис. 13. Литологическая карта Эльтонского месторождения на срезе соляного зеркала: 1-3 – пласты: 1 – продуктивный; 2 – пятый маркирующий; 3 – «лодочковой» каменной соли; 4 – граница сводовой части соляного массива по изогипсе соляного зеркала – 370 м; 5 – буровая скважина и ее номер; 6 – линии профилей поисково-разведочных скважин

а) узкие изоклиналильные, зачастую опрокинутые, с параллельными или почти параллельными крыльями и осевыми плоскостями, наклоненными, как правило, в сторону озера, т.е. к юго-западу;

б) широкие, прямые или слегка наклоненные. Амплитуда складок равна 800–1200 м, реже 1500–2000 м.

Кроме отмеченных складок, которые мы условно считаем складками первого порядка, прослежена дополнительная складчатость второго порядка, осложняющая преимущественно сводовые части антиклиналей, реже – мульды синклиналей и, в единичных случаях, крылья лежащих складок. Амплитуда такой складчатости составляет 300–500 м. Еще более мелкие складки, по-видимому уже третьего порядка с амплитудой в десятки метров, осложняют крылья складок первого и второго порядков.

Рассмотрим характер складчатости Эльтонского соляного купола более детально и отдельно по участкам – Улаганскому и Северному (см. рис. 13).

Улаганский участок. На юго-западной окраине участка (южная часть профиля VII) установлена первая из упомянутых выше систем складчатости. Так, скв. 124, 126, 127, 130 прослеживаются три узкие опрокинутые антиклинали, разделённые двумя такими же синклиналиями. Оси и крылья этих складок параллельны и наклонены к юго-западу под углом 20–25°, амплитуда складок 800–1200 м. Сводовые части двух антиклиналей и мульда одной из синклиналей осложнены дополнительной складчатостью второго порядка с амплитудой 100–400 м. Кроме того, в этой части разреза встречена типичная стулообразная наклонная антиклиналь, образованная дополнительной складчатостью второго порядка, расположенной между скв. 137 и 155. Эта складка усложнила перевернутое крыло антиклинали первого порядка. Аналогично устроенная складка прослежена также в профиле VIII.

Описанные складки частично прослежены по простиранию профилями VI и V. В первом из них фиксируется одна антиклинальная складка высотой около 400 м, осложненная в сводовой части дополнительной синклиналью. В связи с этим образовалось две крайних чрезвычайно узких, почти пережатых антиклинали, одна из которых прямая, другая опрокинутая к югу под углом 30°. Кроме этого, южное крыло антиклинали первого порядка осложнено малоамплитудной резкой складчатостью, по-видимому, уже третьего порядка.

В профиле V эта же антиклиналь прослеживается далее к юго-востоку. Здесь она уже имеет веерообразный облик за счет еще большего усложнения сводовой части дополнительной складчатостью. На перевернутом крыле антиклинали развиваются опрокинутые складки второго порядка: антиклиналь и смежная синклиналь с амплитудой 400 м. Осевая плоскость и крылья антиклинали первого порядка параллельны и наклонены к юго-западу под углом 40°. Амплитуда её 1500 м.

Северо-восточнее располагается система широких, почти прямых складок, прослеживающихся профилями VII, IV, III.

В первом из этих профилей скв. 66, 117, 115, 113, 113бис, 123, 132 установлены широкие прямые складки (две синклинали и две антиклинали) амплитудой 1000–1200 м. В профиле IV прослежены эти же складки, кроме крайней северной антиклинали. Складки здесь (особенно синклинальные) широкие, округлые, с широко расставленными крыльями, прямые. Одна из синклиналей (скв. 162, 125) осложнена в мульдовой части дополнительной антиклиналью высотой около 300 м. Амплитуда складок первого порядка равна 1200–1300 м.

Следующим к востоку профилем прослежены по простиранию (скв. 144, 153, 161, 158, 159) антиклиналь и синклиналь, вскрытые профилем IV в его самой северной части, а также антиклиналь, расположенная на северной окраине профиля VII. В рассматриваемом пересечении первая, самая южная, антиклиналь сохраняет широкую форму, но является уже опрокинутой изоклиальной складкой с параллельными крыльями, наклонёнными к югу под углом 30°. В сводовой части она осложнена антиклиналью высотой около 400 м. Расположенная рядом синклиналь является узкой изоклиальной складкой, сохраняющей аналогичию в элементах залегания с описанной антиклялью только до глубины 900 м, ниже она изгибается, превращаясь в лежачую складку. Находящаяся над ней лежачая антиклиналь резко осложнена дополнительной складчатостью – крылья её образуют перевёрнутую синклиналь и антиклиналь. Высота дополнительной складчатости около 500 м. Амплитуда основной антиклинали с чрезвычайно изогнутой осевой плоскостью составляет около 2000 м.

В северной части рассматриваемого профиля (скв. 159, 135, 135бис, 133) располагается система сравнительно мелких складок с амплитудой 500–600 м. Предположительно они также являются следствием осложнения складчатостью второго порядка того же сводового крыла лежащей антиклинали. Оси всех этих мелких складок наклонены к югу под углом 30°. Более мелкие складки третьего порядка с амплитудой 150 м встречены в этом профиле скв. 153.

В южной части профиля II скв. 149, 148, 148бис, 145, 146, 147 прослежена система узких опрокинутых сильно пережатых изоклиальных складок с довольно крутыми крыльями, слегка наклоненными к юго-западу под углом 10–15°. Амплитуда этих складок 1000–1200 м.

В самой южной антиклинали присводовая часть имеет веерообразный облик за счёт дополнительной антикляльной складки, осложнившей ее перевернутое крыло, и синкляльной – развивается на нормальном крыле. Высота дополнительной антиклинали 80 м, а синклинали – 300 м.

В северной части рассматриваемого разреза (скв. 147, 166, 141, 152, 139) прослежены широкие почти прямые складки с амплитудой 700–800 м. Самая северная в этом профиле антикляль (скв. 152, 139)

осложнена в сводовой части дополнительной синклинальной складкой с амплитудой 300–400 м.

В заключение необходимо отметить, что шарниры всех складок погружаются к юго-востоку и воздымаются к северо-западу с незначительной их ундуляцией. Этот фактор стал весьма весомым в определении перспективности и целесообразности продолжения поисково-разведочных работ на Северном участке месторождения.

Северный участок. В юго-восточной части участка скв. 69 (профиль IX), 53, 59 (профиль X) и 157 установлена широкая синклинальная складка с крутопадающими ($70-90^\circ$) почти параллельными крыльями и осевой плоскостью. Складка коробчатая, погружается в южном направлении. Амплитуда её условно оценивается в 2000 м.

Севернее описанной складки в профиле X скв. 52, 53, 59, 60 и скв. 57, 55, 56 между профилями прослежена характерная антиклинальная зона, представленная системой узких изоклинальных пережатых складок, простирающие которых меняется от северо-восточного (район скв. 57–52–53) на юго-восточное (скв. 59–60). Амплитуда складок изменяется от 600–800 до 1500 м. Между скв. 52 и 53 наблюдается 3 антиклинальные изоклинальные складки, разделённые двумя узкими синклиналями. Западное крыло складки, вскрытой скв. 52, осложняется антиклинальной складкой второго порядка с амплитудой 250–300 м, опрокинутой в западном направлении под углом 45° . Осевые плоскости складок первого порядка имеют незначительный наклон в северо-западном направлении. В юго-восточной части рассматриваемой зоны описанные складки переходят в две синклинальные складки, амплитуда которых 1300–1500 м. Они разделены узкой синклиналью. Складка, установленная по скв. 59, является изоклинальной с осевой плоскостью имеющей слабый наклон в северо-западном направлении. Восточное крыло складки осложнено двумя опрокинутыми антиклинальными складками второго порядка с амплитудой 100 и 250 м. Складка, вскрытая скв. 60, является антиклинальной, килевидной, опрокинутой. Ось складки наклонена в западном направлении.

Шарниры всех описанных антиклинальных складок ундулируют по простиранию, погружаясь в западном и юго-восточном направлениях. На юго-востоке рассмотренная складчатая зона вновь выходит к поверхности в районе скв. 64–137 в профиле VII Улаганского участка.

Следует отметить, что при анализе литолого-структурных комплексов пород в этой зоне была выявлена характерная деталь. Так, в западном крыле первой от поверхности антиклинальной складки, установленной скв. 53, полностью выпадают из разреза будинированные ангидрит-галопелитовый горизонт и калийный пласт 3. Аналогичное положение выявлено по простиранию складки скв. 59.

Севернее описанной антиклинальной зоны скв. 60 (профиль X), 62, 63 (профиль XI) и далее скв. 50, 49 (профиль XII) прослеживается изо-

клинальная, опрокинутая в западном направлении синклинали складка, переходящая на северной окраине участка (профиль XII скв. 50) в нормальную широкую синклинали. В самой юго-восточной своей части эта складка имеет узкий, вытянутый в северо-западном направлении, профиль. Далее по северо-западному простиранию она значительно расширяется и становится коробчатой. В районе скв. 48 от рассматриваемой складки в западном направлении ответвляется широкая синклинали, замок которой выходит на соляное зеркало между скважинами 05 и 52 (профиль X). В районе скв. 62, 63 (профиль XI) складка значительно сужается, а мульдовая часть её осложняется нормальной антиклинальной складкой с амплитудой 150 м. Далее между профилями XI и XII складка вновь значительно расширяется и замыкается в районе скв. 49–50. Амплитуда складки около 1500 м, осевая плоскость её наклонена (скв. 60, 62, 63) к западу под углом 70° .

Описанная складка трассируется на Улаганский участок (скв. 66–170, профиль VII).

Северо-восточнее, между скв. 63–26 (профиль XI), прослеживается узкая изоклинальная антиклиналь северо-западного простирания с осью, наклонённой к западу под углом 70° . Шарнир складки незначительно ундулирует по простиранию, амплитуда её около 1500 м. Складка прослеживается на Улаганском участке (скв. 66–117, профиль VII; 163–125, профиль IV). Выше профиля XI эта складка выклинивается, переходя в восточное крыло ранее описанной синклинали.

Восточнее следует нормальная синклинали складка с крыльями, падающими под углом 70° . Восточное её крыло у соляного зеркала осложнено небольшим флексурным перегибом. Складка имеет северо-западное простирание. Севернее профиля XI она переходит в восточное крыло широкой синклинали. В юго-восточной части Северного участка складка сливается с ещё одной узкой синклиналию и протягивается на Улаганский участок в район скв. 117, 115, 113 и 123, переходя в широкую синклинали. Амплитуда складки в пределах 1500 м.

Далее на северо-восток между скв. 26 и 08 (профиль XI) устанавливается прямая синклинали складка северо-западного простирания, с крыльями, падающими в западном и восточном направлениях под углом 70° . В районе скв. 12 и далее на юго-восток складка постепенно затухает и переходит в мульдовую часть синклинали. Выше профиля XI она разветвляется на два отрога, один из которых ориентирован в северном и северо-восточном направлениях, второй, неоднократно меняя простирание (с юго-восточного на юго-западное и южное), соединяется с антиклиналью, встреченной скважинами 114 и 136 (профиль VIII) на Улаганском участке. Амплитуда складки 1200 м. Между вторым отрогом и основной складкой, установленной в профиле XI, встречена опрокинутая изоклинальная синклинали с осью, наклонённой к северу под углом 70° . В районе этого профиля ось складки имеет восточное простирание, а далее на юг – южное.

В профиле X скв. 54 и 05 установлена широкая нормальная антиклиналь с амплитудой 1000 м. Замок складки осложнён синклиналью второго порядка с амплитудой 350 м. Осевая плоскость складки вертикальная. Она протягивается в северном направлении. Крылья складки падают на запад и на восток под углами в 70° . В профиле XI (скв. 62) складка становится изоклиальной опрокинутой с осью, наклонённой в западном направлении под углом 70° . Далее в профиле XII складка переходит в широкую ассиметричную антиклиналь с крыльями, падающими на запад и восток под углами соответственно 70° и 60° . Амплитуда складки 1100 м. Шарнир полого погружается в южном направлении.

Описанная складка в профиле X и XI, в комплексе с граничащей с востока синклиналью, образует очень характерную складчатую зону, которая стала основой надёжной взаимоувязки разрезов по профилям X–XI.

Далее к западу (профиль X, скв. 54 и 58; профиль XI, скв. 62 и 06) прослеживается изоклиальная опрокинутая синклиналь, осевая плоскость которой в профиле X имеет наклон в восточном направлении (80°), а в профиле XI – в западном (70°). В профиле XII складка становится широкой прямой, с падением крыльев на восток и запад под углами 60 – 70° . Амплитуда складки около 1500 м. Крылья её осложняются пологими складками, по-видимому, третьего порядка, с амплитудой до 10 м. Шарнир складки от профиля XI погружается в южном и северном направлениях. В районе профиля XII складка замыкается. В целом для рассмотренной складки характерно выдержанное простирание и некоторая ундуляция шарнира.

Западнее расположена антиклинальная складка, имеющая в южной части участка северо-северо-восточное простирание, а в северной – северное. В районе скв. 58 и 116 (профиль X) складка пережатая. Западное её крыло осложнено изоклиальной антиклинальной складкой второго порядка с амплитудой около 500-м и осью, наклонённой на запад под углом 60° . В профиле XI складка становится нормальной с падением крыльев на запад и восток под углами 80° и 90° . Шарнир складки воздымается в северном и южном направлениях от профиля XI.

Анализируя рассмотренный материал, можно сделать вывод, что в целом внутренняя структура соляного массива Эльтонского соляного купола характеризуется довольно выдержанным простиранием складок, в общих чертах субпараллельным контурам сводовой части массива. Складкам свойственна незначительная ундуляция шарниров.

Следует также отметить, что рассмотренные участки Эльтонского месторождения калийных солей изучались независимо друг от друга: на Северном осуществлялись поисково-оценочные работы уже после завершения разведки на Улаганском. Тем не менее установленное внутреннее строение соляных массивов по участкам хорошо согласуется между собой, что, мы полагаем, служит дополнительным доказательством надёжности приведённых построений.

10. СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Результатом научного поиска является положение о возможности последовательного, рационального и эффективного изучения солянокупольных месторождений минеральных солей до стадии разведки с помощью буровых работ. Это положение обосновывается следующими тезисами:

– галогенные образования соляных куполов преимущественно сохраняют свой первичный текстурно-структурный облик; соответственно сохраняются формируемые на стадиях сингенеза и диагенеза визуальные литолого-фациальные отличия солей, в том числе (и особенно) каменной соли; эти отличия имеют широкое проявление в галогенных комплексах, отражая меняющиеся во времени условия соленакопления;

– основной особенностью внутренней складчатости соляных массивов является интенсивный, однако не дисгармоничный, а подобный её характер; простираение внутренних складок в общих чертах согласуется с внешними формами соляных структур;

– разрывные нарушения, за исключением будинажа, в ядрах соляных куполов развиты незначительно.

Эти тезисы соответствуют представлениям об умеренном проявлении пластичности галогенных пород при солянокупольном тектоногенезе, свойственным всем без исключения осадочным образованиям в определённых термодинамических условиях. Галогенные комплексы солянокупольных регионов требуют в связи с этим обычных методов исследований, применимых в своей основе для любых интенсивно дислоцированных осадочных формаций.

Нижнепермская галогенная формация Северного Прикаспия высокоперспективна на многие виды полезных ископаемых. Однако перспективы эти неоднозначны для всех структурно-фациальных зон региона. Так, центральная часть Прикаспийской впадины отличается широким развитием сильвинитовых залежей и бороносных образований; западная – сильвинитовых и смешанных кизеритсодержащих разновидностей калийных солей; восточная (район Актюбинского Приуралья) – полигалитовых руд; южная (район Азгира) – перспективна в отношении выявления месторождений тенардита, природной соды и бора; западное обрамление впадины (Приволжская моноклираль) характеризуется практически неисчерпаемыми запасами бишофита и перспективой обнаружения промышленных месторождений сильвинита и борных руд. Подобные литолого-фациальные различия образований высоких стадий галогенеза трудно объяснить без учёта дифференцированного характера солеродного бассейна, без существования в это время изолированных зон соленакопления, различающихся гидрохимическим режимом седиментирующих рассолов (Свидзинский и др., 1980).

При выборе солянокупольных структур в качестве объектов для постановки поисково-разведочных работ, кроме учёта их приуроченности

к определённым структурно-фациальным зонам, преимущество следует отдавать структурам больших размеров, неглубокого залегания, выгодно расположенных в транспортно-экономическом отношении.

Поисково-разведочные работы в общем подразделяются на несколько стадий («Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам», Минприроды РФ, 1999 г.): поисковые работы, оценочные работы, разведка, эксплуатационная разведка. В соответствии с целями и задачами, которые ставятся перед каждой из этих стадий (Борзунов, Гроховский, 1978; Гроховский, Гроховская, 1980), мы определяем сущность работ применительно к условиям солянокупольных объектов (Свидзинский, 1971_{1,2}, 1992; Свидзинский, Ковальский, 1978, 1979).

10.1. Поисковая стадия

Основной задачей поисков является определение конкретной структуры, наиболее оптимальной в отношении возможности обнаружения крупного месторождения того или иного вида полезного ископаемого и выгодно отличающейся транспортно-экономическими условиями. Кроме того, в результате осуществления комплекса подготовительных работ должна быть получена геологическая информация об объекте, достаточная для обоснования рационального расположения скважин, выбора их конструкции и режима бурения.

На первом, предполовом, этапе собираются, обобщаются и анализируются все сведения по буровым, геолого-съёмочным, поисковым, гидро-геологическим, геофизическим, геоморфологическим и прочим работам, проведённым в перспективном районе. При определении конкретных объектов для непосредственного изучения следует руководствоваться следующими их характеристиками (подробно рассмотренными в разд. 1): глубиной залегания, размерами сводовой части соляного массива, взаимоотношением с региональными тектоническими формами, формой соляного массива, стратиграфическим уровнем подъема соляных масс.

В результате работ, выполненных на стадии поисков, должны быть получены достаточно обоснованные представления о строении галогенной толщи, характере её дислоцированности и перспективах выявления промышленного месторождения того или иного минерального сырья. С этой целью следует разбурить несколько поисковых профилей в разных частях изучаемого объекта. Ориентировка профилей при отсутствии прямых признаков общего направления внутренней складчатости выбирается вкрест простирания структуры в целом или отдельных её блоков (участков).

В процессе бурения скважин необходимо постоянно вводить коррективы в направление поискового профиля по результатам определения элементов залегания перебуриваемых галогенных пород. Рекомендуемые оптимальные глубины скважин при изучении месторождений, намечаемых к отработке шахтным способом, – 1200 м. При подготовке запасов

сырья для подземного выщелачивания глубины поисковых и разведочных скважин могут увеличиваться. Расстояние между скважинами выбирается с учётом устанавливаемых в каждом конкретном случае (по отбуренной скважине) углов залегания пород и с расчетом получения перекрытого разреза по профилю. В этом отношении при крутой складчатости наиболее эффективным и рациональным является применение направленного наклонного многозабойного бурения.

Тщательные литологические, химические, минералого-петрографические и геофизические исследования керна и материалы скважинной геофизики позволили составить сводный нормальный разрез месторождения. По нему устанавливаются промышленно перспективные залежи, надёжные корреляционные критерии и маркирующие признаки по всему разрезу, т.е. подготавливаются условия для перехода к следующей стадии изучения объекта. Материалы поисков должны обосновывать прогнозные запасы полезного ископаемого.

10.2. Оценочные работы

Основной задачей этой стадии следует считать изучение площадного развития выявленных продуктивных пластов, условий их залегания и характера выдержанности качества и мощности. Достигается это прослеживанием залежей по простиранию профилей скважин. За оптимальное расстояние между профилями, по нашему мнению, можно принять 2 км. Это позволяет при благоприятных результатах работ (хорошая выдержанность качества и мощности продуктивных горизонтов) на следующей стадии – стадии разведки оценивать запасы сырья по категории C_1 (Инструкция ГКЗ СССР, 1984 г.) и сохранить принцип минимальной «порчи» месторождения, обоснованный А.А. Ивановым (1953).

При уверенной коррелируемости разрезов галогенных пород в поисковых профилях можно комбинировать проходку глубоких и картировочных скважин. Количество тех и других выбирается с учётом конкретной обстановки. При этом необходимо принимать во внимание, что картировочные скважины не наносят ущерба месторождению, так как они заглубляются в тело соляного массива на 30–50 м, т.е. располагаются в пределах верхнего охранного целика (ориентировочная мощность 100 м).

Определение в конечном итоге запасов сырья (категория C_2), промышленно значимых по количеству и качеству, позволяет переходить к следующему этапу работ.

В случае если при проведении поисков на изометричных структурах установлен соответствующий изометричный характер внутренней складчатости, дальнейшее изучение таких объектов с помощью бурения глубоких скважин мы считаем нецелесообразным. Следует ограничиться проходкой картировочных скважин и при положительных результатах поисков сразу переходить на разведку шахтным способом.

Основная цель стадии разведки – оценка промышленных перспектив месторождения, поэтому степень детальности его изучения и перечень данных, которые должны быть получены, обусловлены необходимостью составления ТЭДа о целесообразности промышленного освоения месторождения. На данной стадии некоторым, по-видимому, сравнительно небольшим объемом бурения глубоких и картировочных скважин уточняются условия залегания продуктивных пластов в отбуренных ранее поисковых профилях, а также исключительно картировочными скважинами – между профилями. При этом определённое количество запасов (не менее трети и не более половины) переводится в категорию C_1 . Дальнейшее изучение месторождения или его участка с помощью буровых работ, по нашему мнению, нецелесообразно и даже вредно.

10.4. Эксплуатационная разведка

Все сведения, получаемые о месторождении на стадии предварительной разведки, на стадии эксплуатационной разведки уточняются и детализируются. На этой стадии должны быть получены все данные, необходимые для составления проекта кондиций и разработки технологического проекта эксплуатации месторождения. В.И. Раевский (1973) обосновывает положение о необходимости проведения детальной разведки ископаемых месторождений калийных солей подземным способом. Мы целиком и полностью согласны с исследователем, особенно в том, что касается солянокупольных объектов. Последнее нашло поддержку у сотрудников ГКЗ СССР В.М. Борзунова и Л.М. Гроховского (Борзунов, Гроховский, 1978; Гроховский, Гроховская, 1980).

11. НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

11.1. Технология проходки скважин

Бурение скважин в условиях солянокупольных структур, как правило, связано с весьма значительными трудностями, обусловленными сложностью геологического строения надсолевой толщи и специфичностью минерального состава галогенных образований: наличие водоносных горизонтов в гипс-ангидритовой толще кепроков и на соляном зеркале является причиной возникновения катастрофического поглощения промывочной жидкости и соответственно обрушения неустойчивых интервалов вскрываемого разреза; высокая гигроскопичность некоторых разновидностей калийно-магниевого солей может осложнять бурение из-за образования немерных каверн и понижать требуемый процент выхода керна; шламообразование за счёт кристаллизации солей в промывочной

жидкости (следствие перебуривания интервалов калийно-магниевых пород) также относится к неблагоприятным факторам, затрудняющим бурение.

Естественно, что методика преодоления отмеченных сложностей может различаться в зависимости от конкретных геологических условий отдельных объектов. Однако требования к технологии бурения со стороны геологов должны быть едиными по следующим позициям:

– бурение по солям необходимо производить с соблюдением условий надёжной изоляции водоносных горизонтов, развитых в надсолевой толще, кепроке и на соляном зеркале;

– буровые растворы при бурении в галогенных образованиях (ниже соляного зеркала) должны быть насыщены по наиболее растворимому соляному минералу – бишофиту;

– после завершения буровых работ скважины необходимо надёжно затампонировать.

Тампонажные смеси. Как показала практика, тампонаж в условиях соляной толщи глинистыми материалами с наполнителями, обычными цементными растворами, различными быстросхватывающимися смесями, химически азрированными растворами не дает положительных результатов.

В 1964–1969 гг. Березниковской лаборатории ВНИИГа проводились научно-исследовательские, а в 1967–1969 гг. совместно с Соликамской геолого-разведочной партией Пермского геолтреста опытные работы по ликвидационному тампонированию калийных скважин на Верхней Каме. В конце 1969 г. Уральским геологическим управлением утверждена «Инструкция на производство ликвидационного тампонажа геолого-разведочных скважин на Верхнекамском месторождении калийных солей». При этом за основу была принята тампонажная смесь, разработанная на базе каустического магнезита Г.Е. Швецовым и М.М. Дудко (Борисовец и др., 1969).

В 1970–1972 гг. работниками Волгоградской геолого-разведочной экспедиции совместно с сотрудниками института Волгоградского научно-исследовательского института нефти (ВНИПИНефть) (Ю.В. Романовым, В.И. Пустоваловым и В.М. Вязельщиковым) проводились исследовательские и опытные работы по цементированию скважин в соленосной толще Эльтонского месторождения. Они заключались в поисках наиболее эффективных тампонажных смесей на базе каустического магнезита для целей ликвидации поглощения на соляном зеркале, определении способа установки цементных мостов для внедрения направленного бурения и надёжного ликвидационного тампонажа скважин. В ходе исследований были затампонированы скв. 147 (интервал 140–500 м), 137 (550–950 м) и 148 (170–450 м). Контрольные образцы из этих скважин показали высокое качество цементного камня и сцепление его с солью. С учётом этого, а также уже имеющегося опыта цементирования смесью подобного со-

става для ликвидации поглощения в рапном надсолевом горизонте были определены оптимальные параметры для цемента при производстве ликвидационного тампонажа скважин на Эльтонском месторождении. В 1973 г. Ю.В. Романовым и С.А. Свидзинским была составлена «Временная инструкция...», в соответствии с которой все скважины с этого времени надёжно тампонировались.

Технология приготовления цементных растворов и операции, осуществляемые с их помощью для предупреждения и преодоления геологических осложнений, а также ликвидационного тампонажа скважин на Эльтоне, подробно рассмотрены Ю.В. Романовым (1972, 1977).

Так называемый цемент Сореля образуется при смешивании окиси магния (MgO) с раствором хлористого магния ($MgCl_2$). Конечным устойчивым продуктом в цементе Сореля является трехокисный оксихлорид магния ($3MgO \times MgCl_2 \times 4H_2O$) – вещество, способное образовывать кристаллизационную цементоподобную структуру. Таким образом, соль, наиболее агрессивная к обычным тампонажным цементам, в цементе Сореля является одним из его компонентов. Химическая устойчивость каустического магнезита подтверждается лабораторными исследованиями и полевыми испытаниями в условиях как Эльтонского, так и Верхнекамского месторождений.

Для ликвидации поглощения промывочной жидкости при проходке рапообильной части кепрока каустический магнезит был применен впервые на Эльтоне в январе 1971 года. На глубину 299 м в одной из скважин была посажена колонна $d \approx 127$ мм, перекрывающая зону поглощения и заглублённая ниже соляного зеркала на 36 м. Башмак обсадной колонны был зацементирован каустическим магнезитом, затворенным на поверхностной рапе оз. Эльтон, с удельным весом 1,22 г/см³, с рапоцементным отношением 0,8 и добавкой глинопорошка; время цементации – 40 ч. Раствор имел следующие параметры:

- удельный вес – 1,72 г/см³;
- растекаемость – 18 см;
- начало схватывания – 5 ч.

При первой закачке сохранилось частичное поглощение промывочной жидкости; вторая закачка этим же раствором, но без глинистого порошка полностью ликвидировала поглощение. Следующий, более успешный опыт был осуществлён в марте того же года. Башмак обсадной колонны уже цементировался кустическим магнезитом, затворённым на насыщенном рассоле бишофита (удельный вес 1,34 г/см³) с рассолоцементным отношением 0,8; время – ОЗЦ 24 ч. Параметры раствора:

- удельный вес – 1,88 г/см³;
- растекаемость – 23 см;
- начало схватывания – около 4 ч.

Поглощение было ликвидировано после первой закачки.

Вывод: для приготовления оптимального цементного раствора на базе каустического магнезита следует в качестве затворяющей жидкости применять насыщенный по бишофиту глинистый раствор. В результате получается глинобишофитовый раствор со следующими показателями: удельный вес – 1,16 г/см, вязкость – 36 с, концентрация $MgCl_2$ –42%. После суточного отстоя удельный вес повышается до 1,2 г/см³, а вязкость снижается до 32 с. Исследовался и применялся для цементации каустический магнезитовый порошок третьего класса, поставляемый с завода «Магнезит».

Таким образом, в качестве общей рекомендации можно предлагать, чтобы зона поглощения в нижней части кепрока и на соляном зеркале примерно на 30 м ниже и 30 м выше соляного зеркала перекрывалась колонной обсадных труб на сварке; выше и ниже зоны поглощения производилась затрубная цементация каустическим магнезитом, который, кроме хороших прочностных свойств, обладает надёжной антикоррозийной устойчивостью. Поглощения в межсолевых полостях ликвидируются обычной цементацией раствором каустического магнезита, который транспортируется через бурильные трубы. Таким же образом осуществляется ликвидационный тампонаж скважины в интервале соляного массива.

В общих чертах методика ликвидационного тампонажа заключается в следующем. От забоя до соляного зеркала скважина заливается раствором каустического магнезита на бишофите. После ОЗЦ (ожидание затвердения цемента) отбираются контрольные образцы цементного камня. Выше соляного зеркала на высоту 15 м ствол тампонируется глиной с последующей её утрамбовкой. До устья скважина заливается густым глинистым раствором, закрепление устья и постановка репера производится обычным тампонажным цементом.

Буровые глинистые растворы после рассмотренной выше изоляции обводнённой зоны выше соляного зеркала следует заменить. Кавернообразование, шламообразование, газо- и рапопроявление, а также «течение» магниевых солей – бишофитов предупреждаются применением нефтемulsionных соляных глинистых растворов (НЭСГР), насыщенных хлористым магнием (Романов, 1973,1974). Это стабильные, обладающие хорошей структурой растворы, способные удерживать в себе избыток легкорастворимых солей, позволяющие в условиях изменения температур в скважине от 20 до 50°С и при перебурировании солей различного состава создавать эвтонические системы за счёт избытка тонкодисперсных солей, взвешенных в растворе.

Один из видов НЭСГР разработан лабораторией буровых растворов Волгоградского научно-исследовательского института нефти (ВНИПИНефть). Приготовление их основано на механическом эмульгировании нефти при введении её в глинистые растворы, насыщенные солями. С увеличением содержания в растворе твердой фазы и нефти структурные показатели растут, а водоотдача уменьшается. Изменение растворов при введении неф-

ти обусловлено появлением суспензионно-эмульсионной структуры вместо суспензионной, характерной для обычных глинистых растворов. Это подтверждают проведённые (Романов, 1974) исследования структурно-механических свойств НЭСГР, насыщенных $MgCl_2$, с концентрацией нефти от 5 до 40%. Для приготовления НЭСГР на Эльтоне применялась кальциевая грубодисперсная глина из местного карьера. Благодаря незначительному обменно-катионному комплексу она солеустойчива. При отсутствии нефти в качестве эмульгирующей добавки может служить дизельное топливо.

11.2. Опыт применения направленного многозабойного бурения на Эльтоне

Самые первые этапы изучения Эльтонского солянокупольного месторождения калийных солей показали сравнительно невысокую эффективность вертикального бурения в связи с крутопадающей изоклинальной складчатостью, на что еще в 1953 г. указывал А.А. Иванов (Иванов, 1953). Некоторый опыт бурения ориентированных наклонных скважин был приобретен челкарскими и индерскими геологами. Однако их методика требует специальной реконструкции буровых вышек и поэтому к широкому применению рекомендована быть не может. Весьма эффективные результаты по направлeнному многозабойному бурению скважин получены американскими геологами на куполе Палангана (Hofrichter, 1968) (см. рис. 6).

С 1976 г. исследования по внедрению направленного бурения проводились на Эльтоне. На первом этапе работ был применен извлекаемый клин Давлеканова. Две попытки (скв. 52) изменить пространственное положение скважины с его помощью окончились авариями. В первом случае произошел обрыв колонковой трубы отбуривающего снаряда, во втором – обрыв коронки и угловая деформация самого клина.

Дальнейшие попытки по отклонению осуществлялись с помощью так называемого «дробового гидроотклонителя», предложенного и внедренного на Эльтоне техническим руководителем буровых работ Волгоградской ГРЭ А.А. Салминым. Принцип его работы заключается в разрушении солей в заданном направлении струей промывочной жидкости с буровой дробью (совместное разрушающееся воздействие ударов дроби и агрессивного для солей опресненного бурового раствора).

Скважины, пробуренные в этот период, располагались на профилях, ориентированных вкрест простирания внутренних структур. Расстояние между профилями выбиралось около 2 км, расстояние между скважинами, пройденными наклонно по направлению профиля в одну или разные стороны увеличивалось в среднем до 1 км.

Такая методика работ позволила за сравнительно короткое время и при значительно меньших, по сравнению с затраченными на Улаганском

участке, объемах бурения получить надежную геологическую информацию о характере внутреннего строения соляного массива и условиях залегания продуктивных пластов Северного участка месторождения.

Так, максимально достигнутое отклонение составило 36° , расстояние от забоя до устья скважины в плане, при глубине скважины 1200–1300 м, составило 400–500 м. В некоторых скважинах, кроме одного–двух глубоких стволов, пройденных ниже соляного зеркала для изучения разреза, было осуществлено бурение нескольких мелких стволов с целью уточнения элементов залегания слоев галогенных пород.

Принципиальная схема «дробового гидроотклонителя» приведена на рис. 14.

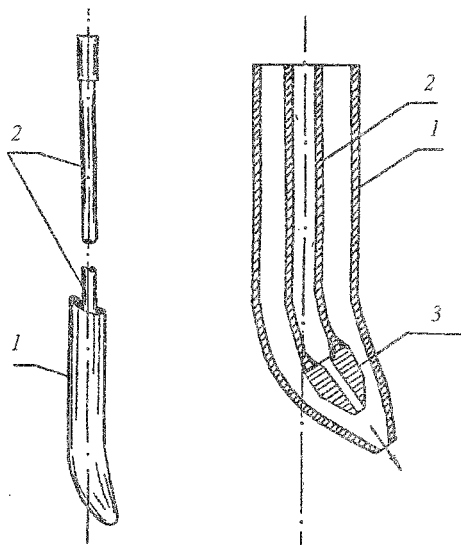


Рис. 14. Принципиальная схема дробового гидроотклонителя

При включении грязевого насоса промывочная жидкость через внутреннюю трубу 2 и насадку 3 проходит в отверстие в кожухе 1, попадает на забой, поднимает с забоя дробь и увлекает её за собой. Над верхним концом кожуха происходит резкий перепад скорости восходящего потока. Дробь падает в кожух, увлекаемая силой тяжести и потоком промывочной жидкости, возникающим за счет эжекционного эффекта. Эффект эжекции происходит при выходе струи промывочной жидкости из сопла насадки 3. Дробь проходит в кольцевом пространстве между кожухом и внутренней трубой и, смешиваясь со струей, истекающей из насадки,

ударяется о забой. Затем весь цикл повторяется. Следует отметить, что особое внимание должно быть уделено подготовке забоя скважины к операции по отклонению. Забой должен быть чист от металлических обломков и крупных кусков породы. Иначе этот «мусор» с забоя попадет в кожух, застрянет там, доступ дроби к забою прекратится и отклонитель работать не будет. Технологически цикл одного отклонения ствола скважины подразделяется следующим образом:

1) отклонение ствола дробовым гидроотклонителем;

2) отбурка от места постановки отклонителя.

Конкретнее порядок должен быть следующим:

– проработка забоя скважины шарошечным долотом диаметром 93 мм; при этом уничтожается столбик керна, остающийся после срыва керна при бурении твердосплавными коронками;

– ориентирование отклонителя на поверхности; на Эльтоне нами использовался ориентатор ШОК-2;

– засыпка в скважину буровой дроби (1,5 кг);

– спуск и ориентация отклонителя в скважине;

– углубление скважины с помощью отклонителя;

– после ориентации включается промывка скважины и отклонитель спускается на забой;

– необходимо следить за тем, чтобы при спуске ведущей штанги буровой снаряд в скважине не повернулся, для этого отклонитель устанавливается в 2–3 см от забоя;

– через каждые 30 мин. отклонитель спускается на 10–30 см (в зависимости от скорости размыва) и вновь подвешивается на 2–3 см от забоя;

– после углубления на 1,5 м отклонитель поднимается на поверхность;

– интервал, пройденный отклонителем, разбуривается долотом диаметром 93 мм;

– при этом желательно, чтобы долото как можно глубже зашло в искривленный участок скважины;

– вращение долоту придается при нагрузке на него 300 кг;

– после включения вращения (136 об/мин) нагрузка увеличивается до 1000 кг;

– при отбурке долотом возможны обрывы штанги, на которой опущено долото (штанга диаметром 50 мм);

– проходка долотом должна быть не менее 5 м.

После подъема долота опускается короткая колонковая (1,5–2 м) с коронкой М-1, М-2, диаметром 93 мм. Режим бурения при этом обычный. Короткой колонковой отбуривается 4–5 рейсов. Затем весь цикл повторяется (отклонение ствола скважины и отбурка по скосу). После набора заданных величин зенитного и азимутального углов производится чистка скважины от дроби.

После завершения бурения пройденный ствол надежно тампонируется, и в случае необходимости начинается бурение нового ствола.

При работе отклонителя буровой раствор следует опреснять. Для поддержания его агрессивности по отношению к размываемой на забое соли перед каждой постановкой отклонителя следует добавлять в раствор порядка 2 м пресной воды.

Из опыта работ:

- средний угол набора кривизны за одну постановку отклонителя составил $2,4^\circ$;
- затраты времени на один цикл отклонения – 5,7 ч ;
- наиболее эффективно работает отклонитель в мелкокристаллической каменной соли с тонкими (1–2 мм) слоями ангидрита и в галитите – чистой разновидности каменной соли (без прослоев ангидрита);
- после завершения отклонения диаметр ствола составляет от 200–250 до 350 мм.

11.3. Скважинная геофизика

Основными видами каротажа скважин, используемыми в солянокупольных регионах, являются: электрокартаж, инклинометрия, термометрия, гамма-картаж, нейтронный гамма-картаж, кавернометрия. Последние три вида самодостаточны для надежного выделения в соляной толще калийных, калийно-магниевого и магниевого залежей.

Электрокартаж имеет значение в надсолевой толще. Он используется для ее расчленения.

Инклинометрия в качестве обязательного вида осуществляется по всему стволу скважины. Результаты замера искривлений используются при построении геологических разрезов, обработке данных кернометрии и направленного бурения, а также имеют определяющее значение при проектировании охранных целиков вокруг скважин в теле соляного массива. На Эльтоне применялись инклинометры ИК-2 и ИК-4. Согласно техническим данным эти приборы работают в скважинах с углами наклона от вертикали до 50°С . Достоверные азимутальные данные исчисляются только в немагнитных средах при зенитных углах наклона более 2° . Как правило, искривление скважин от устья до 200–300 м было незначительным, не превышающем $1\text{--}2^\circ$, в связи с чем значения азимутов в этих интервалах не учитывались.

Обработка инклинометрических замеров проводилась методом прямоугольных координат по «Таблицам для обработки искривленных и многозабойных скважин» при замерах элементов кривизны через 10 м и 25 м (Пухляков, 1966).

Термометрию следует осуществлять по нескольким скважинам для установления температурного режима до глубин возможной (планируемой) добычи полезного ископаемого.

Гамма-каротаж является основным геофизическим методом, контролирующим качество переburки калиеносных интервалов.

Естественная гамма-активность пород как галогенной, так и надсолевой толщи низкая и почти не отличается от натурального фона. Интервалы калийных солей, в связи с содержанием радиоактивного изотопа K^{40} , имеют высокую гамма-активность. Так, если каменная соль показывает 2–4 мкр/ч, то карналлиты – около 20–25 мкр/ч, а сильвиниты – до 40 мкр/ч. На этом принципе и основано выделение в разрезе калийных и калиеносных интервалов.

На Эльтоне гамма-каротаж осуществлялся скважинным прибором РАРК с двумя счетчиками СИ-4Г. Скорость движения около 400 м/ч; масштаб записи 1:500 и 1:200.

Нейтронный гамма-каротаж в комплексе с гамма-каротажем чрезвычайно эффективен при идентификации интервалов различных видов солей. Так, сильвиниты отличаются самыми высокими значениями ГК и НГК, карналлитовым породам на кривой ГК также соответствуют высокие значения, но более низкие, чем у сильвинитов, а значение НГК – минимальные, бишофиты не показывают повышений на кривой ГК и отличаются минимальными значениями НГК, каменная соль характеризуется минимумами ГК и максимумами НГК.

В качестве источника нейтронов на Эльтоне применяли полониево-бериллиевый элемент с периодом полураспада 140 дней.

Кавернометрия. Данные кавернометрии позволяют определять интервалы с повышенной растворимостью пород (карналлитовые и бишофитовые соли), что используется при интерпретации всего комплекса промыслово-геофизических материалов по скважине, а также при расчете количества цементного раствора при ликвидационном тампонировании скважин.

В заключение необходимо отметить, что при сравнительном анализе результатов бурения и каротажа предпочтение следует отдавать геофизическим данным. Однако учитывая, что эти данные по времени значительно отстают от собственно буровых работ, в частности (и особенно) от выноса керна по продуктивным залежами и необходимости его незамедлительного опробования, мы рекомендуем следующий порядок работы: отбор проб необходимо осуществлять по данным бурения, а при получении каротажных данных вводить коррективы в интервалы залежей вообще и в интервалы опробования в частности (на геологических колонках, в геологических журналах, журналах опробования и т.п.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Галогенные комплексы солянокупольных регионов высокоперспективны в отношении выявления крупных месторождений различных минеральных солей. Одним из наиболее перспективных районов России в плане создания новой экономически эффективной сырьевой базы производства хлорных и бесхлорных калийных удобрений и других видов калийной и магниевой продукции является Северный Прикаспий. Развитая на его территории галогенная толща кунгура вмещает огромные запасы уникальных по качеству сильвинитов, а также карналлитовых, бишофитовых, полигалитовых и кизеритовых солей. Однако освоение недр региона сдерживается весьма сложными условиями залегания галогенных образований в солянокупольных массивах и нерешенностью в связи с этим многих вопросов методического и геологического (прежде всего, структурно-тектонического и литолого-стратиграфического) порядков.

Положительные результаты изучения одного из солянокупольных месторождений Прикаспийской впадины – Эльтонского месторождения калийных солей достигнуты в значительной степени благодаря нашим многолетним (1965–1984 гг.) исследованиям в направлении установления общих закономерностей строения галогенных комплексов соляных массивов и разработки в связи с этим рациональных и эффективных приемов выяснения специфики и степени проявления внутренней соляной тектоники, а также проведения поисково-разведочных работ на минеральные соли.

Анализ материалов предыдущих исследований по Прикаспию и некоторым другим солянокупольным регионам, в сочетании с опытом непосредственного изучения Эльтонской и Баскунчакской структур, позволил в конечном итоге сделать следующие выводы:

— галогенные комплексы, образовавшие специфические объекты — солянокупольные массивы, преимущественно сохраняют свой синседи-

ментационный текстурно-структурный облик, позволяющий восстанавливать их первичную слоистость;

– соленосные отложения в условиях соляных куполов интенсивно дислоцированы; они образуют обычно сложные, часто опрокинутые крутые изоклинальные складки; однако преобладающим типом складчатости является складчатость подобная, а не дисгармоничная; разрывные нарушения, кроме будинажа и редких случаев послойных трещин, либо отсутствуют, либо имеют незначительное проявление;

– степень пластичности, «текучести» солей при солянокупольном тектогенезе отличается умеренным проявлением, свойственным всем без исключения породам в соответствующих термодинамических условиях; устанавливается она путём изучения интенсивности будинирования «жёстких» сезонных и многолетних прослойков ангидрита и литологических изменений пород и минералов;

– направление внутренней складчатости солянокупольных массивов в общих чертах соответствует их внешним формам;

– галогенные образования, в частности каменная соль, кроме химических, минералого-петрографических, геохимических, каротажных отличительных признаков, обладают хорошими маркирующими возможностями литологического порядка: характером строения микроритмов, распределением нерастворимого (глина, ангидрит и т.п.) материала, структурными особенностями и т.д.; выявление в связи с этим надёжных лито- и ритмостратиграфических отличий позволяет устанавливать корреляционные признаки галогенной толщи практически на любом её литостратиграфическом уровне;

– методика поисково-разведочных работ, проведённых в условиях солянокупольных структур Прикаспийской впадины и других регионов, за небольшим исключением, не способствовала получению надёжной геологической информации о структурных и стратиграфических особенностях изучаемых объектов; это, естественно, не позволяло с помощью только буровых работ обоснованно устанавливать запасы полезного ископаемого по промышленным категориям, что, в свою очередь, обусловило отрицательное отношение к возможностям поисково-разведочных работ на минеральные соли в солянокупольных регионах.

Нами разработан и рекомендован комплекс рациональных методов и приёмов ведения поисково-разведочных работ на минеральные соли в условиях соляных куполов с помощью буровых работ до стадии предварительной разведки. Основными положениями, которыми следует при этом руководствоваться, являются:

– получение перекрытых геологических разрезов по поисково-разведочным профилям, расположенным вкрест простираения внутренних складок соляного массива;

– осуществление чёткой дифференциации и корреляции разрезов

по скважинам с выявлением маркирующих признаков пород по всему разрезу, надёжным определением генетического порядка (прямого или обратного) перебуриваемых слоев и составлением в конечном итоге обоснованной сводной нормальной колонки вскрытой части галогенных образований.

Отмеченные положения достигаются главным образом:

- путем внедрения в практику геолого-разведочных работ кернометрии (определение элементов залегания слоев на керне);
- построением геологических разрезов по поисково-разведочным профилям методом биссектрис;
- бурением направленных наклонных (вкрест простирания пород) и многозабойных (в разные стороны по направлению профиля) скважин;
- детальными литостратиграфическими исследованиями, основанными на тщательном визуальном изучении кернового материала при химическом, минералого-петрографическом, геохимическом и других видах контроля;
- рациональной организацией поисково-разведочных работ, предусматривающей использование косвенных методов определения внутреннего строения соляных массивов до начала собственно буровых работ, выбор правильного (вкрест простирания внутренней складчатости) направления поисково-разведочных профилей, а также расстояния между скважинами в профилях и их глубин; разработку высокоэффективных тампонажных смесей и промывочных жидкостей и некоторых др.

Предлагаемая методика изучения солянокупольных структур, по нашему убеждению, позволит рационально и эффективно осуществлять поисково-разведочные работы на минеральные соли, в частности, в Северном Прикаспии, с целью быстрее вовлечения в эксплуатацию развитых здесь высококачественных калийно-магниевых образований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ажгирей Г.Д.* Структурная геология. М., 1956.
- Балуховский Н.Ф.* Принципы генетической классификации соляных диапиров в связи с прогнозированием глубинной нефтегазоносности // Тектоника и нефтегазоносность солянокупольных областей СССР. Алма-Ата, 1973.
- Батурин В.П.* Происхождение кепрока соляных куполов // Сов. геол. 1947. № 18.
- Богданов А.А.* Тектоника Ишимбаевского Приуралья // Материалы к познанию геологического строения СССР. Нов. сер. 1947. Вып. 7.
- Бодрых А.А., Кармальский Г.К.* Керноскоп КО и кернометр ПТ-1 // Практическое руководство по отбору и исследованию ориентированного керна. Свердловск, 1975.
- Борзунов В.М.* Геолого-промышленная оценка месторождений нерудного минерального сырья. М., 1965.
- Борзунов В.М., Гроховский Л.М.* Поиски и разведка месторождений минерального сырья для химической промышленности. М., 1978.
- Борисовец В.А. и др.* Материалы и методы тампонирования, применяемые на калийных и соляных месторождениях // Вопросы разработки месторождений калийных солей // Тр. ВНИИГалургия. 1969. Вып. LI.
- Ботвинкина Л.Н.* Методическое руководство по изучению слоистости. М., 1965.
- Будлов Н.И.* Соляные купола Урало-Эмбинской области и связанные с ними полезные ископаемые // Большая Эмба. М., 1937.
- Будлов Н.И.* Практическое руководство по структурной геологии и геологическому картированию. М., 1955.
- Валяшко М.Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М., 1962.
- Валяшко М.Г., Жеребцова И.К., Гребенников Н.П., Ермаков В.А.* К генезису калийных солей и бишофита соляных отложений Приволжской моноклинали // Бром в соляных отложениях и рассолах как геохимический индикатор их генезиса, истории и поисковый признак. М., 1976.
- Васильев В.С.* Кепроки соляных куполов Эмбы, Урала и Заволжья // За недра Волго-Прикаспия. Саратов, 1937. Вып. 2.
- Вахрамеева В.А.* К стратиграфии и тектонике Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГалургия. 1956. Вып. 32.

Верховцев В. А., Копнин В. И. Макроскопическое изучение текстуры и структуры соляных пород для оценки гидрохимического развития солеродного бассейна // Галогенные формации Украины и связанные с ними полезные ископаемые. Киев, 1971.

Войновский-Кригер К. Г. О некоторых спорных вопросах механизма складкообразования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1936. № 1.

Войновский-Кригер К. Г., Паталаха Е. И. Складки ламинарного течения в динамометаморфизованных породах среднего палеозоя Успенской зоны смятия (Центральный Казахстан) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1968. № 2.

Волков А. Н. Месторождения боратов Индера/Большая Эмба. М., 1937.

Воронова М. Л., Корневский С. М., Бодунов В. С. Геологическое строение и минералого-петрографическая характеристика галогенных пород Линевской структуры // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1962. Т. 83.

Голубев Б. М. Роль послышной течения солей во внутренней тектонике калийной зоны Березниковской брахиантиклинали Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГалургия. Л., 1972. Вып. 60.

Гроховский Л. М., Гроховская М. А. Поиски и разведка месторождений минеральных солей. М., 1980.

Деревягин В. С., Седлецкая Н. М. Минералогия, петрография и геохимия пород Эльтонского месторождения калийных солей // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1978. Вып. 17.

Деревягин В. С., Макаров А. С., Ковальский Ф. И. и др. Геология и калиеносность нижнепермской галогенной формации Северного Прикаспия // Строение и условия образования соленосных формаций. Новосибирск, 1981.

Деревягин В. С., Свидзинский С. А., Седлицкий В. И. и др. Нижнепермская галогенная формация Северного Прикаспия. Ростов н/Д, 1981.

Джсиноридзе Н. М., Коринь С. С., Ратникова Г. Н., Телегин В. П. Новые данные о мезоскладках в соленосных отложениях Гольныи Калуш-Гольнского месторождения калийных солей // Тр. ВНИИГалургия. Л., 1972. Вып. 60.

Джсиноридзе Н. М., Поликарпов А. И., Телегин В. П. и др. Геология восточного поля Гольныи Калуш-Гольнского калийного месторождения // Тр. ВНИИГалургия. Л., 1973. Вып. 64.

Джсиноридзе Н. М., Соколова Т. Н., Гемп С. Д. др. Маркирующие горизонты, тектоническое строение и пути преобразования пород месторождения калийно-магниевого солей одного из куполов Центрального Прикаспия // Условия формирования и преобразования вещественного состава пород калийных месторождений. Л., 1982.

Диаров М. Д. О влиянии литологии галогенных пород на формирование кепрока // Вестн. АН КазССР. 1960. № 8 (1985).

Диаров М. Д. Взаимосвязь коренных и элювиальных отложений кунгура Прикаспийской впадины // Геология, гидрогеология и разработка нефтяных месторождений Западного Казахстана. М., 1971.

Диаров М. Д. Особенности седиментации калийных солей Прикаспийской впадины // Проблемы геологии Западного Казахстана. Алма-Ата, 1971.

Диаров М. Д. Калиеносность галогенных формаций Прикаспийской впадины // Тр. КазНИГРИ. М., 1974. Вып. 6.

Диаров М. Д., Камашев Х., Тухфатов К. Тектонические черты строения купола Сатимола // Химическое и горнорудное сырье Казахстана. Алма-Ата, 1968.

Диаров М. Д., Утегалиев С. У. Особенности строения элювиальных образований – поисковый критерий на калийные соли // Геология и полезные ископаемые соленосных толщ. Киев, 1974.

Долгих С.А. Внутренняя тектоника соляных ядер и закономерности развития соляных структур центральной части Северо-Прикаспийской впадины. Алма-Ата, 1963.

Дубинина В.Н. К вопросу о генезисе сильвина // ДАН СССР. Т. 80. 1951.

Ермаков В.А., Исаев А.Я., Гетманова Е.И. Гидрохимическая толща на территории западного обрамления Прикаспийской синеклизы // Геология нефти и газа. 1968. № 5.

Жеребцова И.К., Свидзинский С.А., Золотарева В.А., Пантелеева О.Д. Применение геохимических критериев для целей установления генезиса, условий формирования и корреляции соляных отложений Эльтонского соляно-купольного месторождения калийных солей // Соленосные формации и практическое значение их изучения: В 2 т. Новосибирск, 1979. Т.1.

Иванов А.А. Илецкое месторождение каменной соли // Зап. Всерос. минералог. об-ва. 1939. № 1, ч. 68.

Иванов А.А. Внутриформационные тектонические брекчии некоторых ископаемых соляных залежей // Тр. ВСЕГЕИ. Л., 1950. Вып. 2.

Иванов А.А. Основы геологии и методика поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. М., 1953.

Иванов А.А. О некоторых вопросах формационной и стратиграфической терминологии в применении к галогенным отложениям // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 2.

Иванов А.А., Левицкий Ю.Ф. Геология галогенных отложений (формаций) СССР. М., 1960.

Иванов А.А., Воронова В.Л. Галогенные формации (минеральный состав, типы и условия образования; методы поисков и разведки месторождений минеральных солей). М., 1972.

Казанцев М.И. Кернометрия. Алма-Ата, 1966.

Калинко М.К. Геология соляного штока купола Нордвик // Тр. НИИ Геологии Арктики. Л., 1951. Т. 10.

Кислик В.З., Лутинович Ю.И., Ерошина Д.М. Периодичность осадкообразования галогенной формации кунгурского возраста Северо-Западного Прикаспия // Геология и петрография калийных солей Белоруссии. Минск, 1969.

Китык В.И. Соляная тектоника Днепровско-Донецкой впадины. Киев, 1970.

Корневский С.М. Основные принципы прогнозирования месторождений калийных солей. М., 1965.

Корневский С.М. Литостратиграфическая корреляция разрезов галогенных формаций различных типов и их дифференциация (с элементами палеогеографического контроля) // Осадочные породы и руды. Киев, 1978.

Корневский С.М., Воронова М.Л. Геология и условия формирования калийных месторождений Прикаспийской синеклизы и Южно-Предуральского прогиба. М., 1966.

Корневский С.М., Донченко К.Б. Геология и условия формирования калийных месторождений советского Предкарпатья. // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1963. Т. 99.

Коробов С.С. Некоторые новые данные по геологии Индерского поднятия // Тр. ВНИИГалургия. 1960. Вып. 40.

Короткевич Г.В. Соляной карст. Л., 1970.

Косыгин Ю.А. Тектоника нефтеносных областей: В 2 т. М., 1958. Т. 1.

Косыгин Ю.А. Типы соляных структур платформенных и геосинклинальных областей // Тр. ГИН АН СССР. 1960. Вып. 29.

Косыгин Ю.А. Особенности изучения соляной тектоники // Методы изучения тектонических структур: В 2 т. М., 1961. Т. 2.

Ливанов В.К. К вопросу о механизме складкообразования // Проблемы советской геологии. 1935. № 12.

Лобанова В.В. К условиям формирования покровной сульфатной толщи Челкарского поднятия // Тр. ВНИИГалургия. Л., 1960. Вып. 40.

Московский Г.А., Сиротин К.М., Свидзинский С.А. Некоторые результаты исследования включений в минералах Эльтонского месторождения калийных солей // Вопр. геол. Южного Урала и Поволжья. 1977. Вып. 14.

Московский Г.А., Сиротин К.М., Сиротин С.К. Некоторые геохимические особенности Эльтонского месторождения калийных солей (по включениям в минералах) // Вопр. геол. Южного Урала и Поволжья. 1978. № 17.

Московский Г.А., Сиротин К.М. Использование включений в минералах солей для выяснения условий седиментации и расчленения разрезов (районы Эльтона, Баскунчака и северо-западной части прибортовой зоны Прикаспийской синеклизы) // Тез. докл. 2 Всес. солевого совещания. Новосибирск, 1979. Т. 1.

Московский Г.А., Сиротин К.М. Использование результатов изучения включений в минералах солей для выяснения условий седиментации и расчленения разрезов (районы Эльтона, Баскунчака и северо-западной части прибортовой зоны Прикаспийской синеклизы) // Строение и условия образования соленосных формаций. Новосибирск, 1981.

Мурсалимов Х.И. Ажикеев М.К., Набоков М.К. и др. Некоторые вопросы разведки калийных залежей в солях // Химическое и горнорудное сырье Казахстана. Алма-Ата, 1968.

Отрешко А.И. Перспективы прогноза и поисков месторождений самородной серы в Северном Прикаспии. Казань, 1970.

Отрешко А.И. Типы кепроков и перспективы сероносности солянокупольных структур // Геология и полезные ископаемые соленосных толщ. Киев, 1974.

Ошакпаев Т.А. Челкарский соляной купол-гигант. (Прикаспийская впадина). Алма-Ата, 1974.

Петриченко О.И. Включения в минералах как источник информации об условиях солеобразования // Геология и полезные ископаемые соленосных толщ. Киев, 1974.

Петриченко О.И., Ковалевич В.М., Шайдецкая В.С. О возможности использования жидких включений в галите для расчленения соленосных толщ // Осадочные породы и руды. Киев, 1978.

Пухляков Л.А. Таблицы для обработки искривленных и многозачайных скважин при замерах элементов кривизны. Томск, 1966.

Раевский В.И. Месторождения калийных солей СССР. Методы их поисков и разведки. Л., 1973.

Раевский В.И., Фивег М.П., Герасимова В.В. и др. Месторождения калийных солей СССР. Методы их поисков и разведки. Л., 1973.

Родин О.Ф., Кичигин К.М. Роль кернометрии в разведке месторождений // Разв. и охрана недр. 1977. № 3.

Романов Ю.В. Ликвидация поглощения промывочной жидкости при бурении скважин на Эльтонском месторождении // Разведка и охрана недр. 1972. № 8.

Романов Ю.В. Нефтеэмульсионные соленые глинистые растворы в разведочном бурении // Экспресс-информация ВИЭМС. 1973. № 9.

Романов Ю.В. Нефтеэмульсионные глинистые растворы для бурения скважин на калийных месторождениях // Разведка и охрана недр. 1974. № 1.

Романов Ю.В. Предупреждение и преодоление геологических осложнений при проводке скважин на калийных месторождениях Прикаспийской синеклизы // Геол. строение и полезные ископаемые. Нижнего Поволжья. Саратов, 1977.

Сапужак Я.С., Шамотко В.И. Поиски и разведка соляных залежей в Предкарпатье электрическими методами // Галогенные формации Украины и связанные с ними полезные ископаемые. Киев, 1971.

Свидзинский С.А. Применение метода графического построения геологических разрезов по скважинам с помощью биссектрис при работах на Эльтонском соляном куполе // ОНТИ ВИЭМС. 1969. № 1.

Свидзинский С.А. Методика изучения Эльтонского солянокупольного месторождения калийных солей и рекомендации по исследованию калиеносности однотипных структур Прикаспия // Галогенные формации Украины (Тезисы докладов). Киев, 1971₁.

Свидзинский С.А. Сводный нормальный разрез северо-восточной части Эльтонского соляного купола // Геология и генезис месторождений горно-химического сырья. Казань, 1971₂ (Труды геол. ин-та. Вып. 33).

Свидзинский С.А. Применение метода кернометрии при поисках калийных солей на Эльтонском соляном куполе // Проблемы прогноза поисков и разведки, месторождений горно-химического сырья СССР. М., 1971₃.

Свидзинский С.А. Внутренняя тектоника солянокупольных структур и методы ее изучения. Ростов н/Д, 1992.

Свидзинский С.А., Деревягин В.С., Ковальский Ф.И. и др. Корреляция разрезов и палеотектонические условия накопления кунгурской соляной толщи запада Прикаспийской впадины // Совет. геология. 1980. № 7.

Свидзинский С.А., Ковальский Ф.И. Методика исследования соленосных отложений Прикаспия и пути ее совершенствования // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1978. Вып. 17.

Свидзинский С.А., Ковальский Ф.И. Методические основы изучения соляных куполов Прикаспия // Геология и полезные ископаемые Калмыцкой АССР. 1979. Вып. 6.

Сельский В.А. Соляные купола и их связь с нефтью. М.; Л., 1936.

Сиротин К.М., Московский Г.А. Опыт термобарогеохимического изучения соляных пород Эльтонского и Баскунчакского месторождений калийных солей и других районов Прикаспийской впадины // Геология и полезные ископаемые Калмыцкой АССР. 1979. Вып. 6.

Скок В.И. Графическое построение геологических разрезов скважин в складчатых пластовых месторождениях // Горный журн. 1933. № 9.

Страхов Н.М. Геология кунгура Ишимбаевского нефтеносного района // Материалы к познанию геологического строения СССР. Нов. сер. 1947. Вып. 5.

Страхов Н.М. Основы теории литогенеза: В 3 т. М., 1962. Т. 3.

Тихвинский И.Н., Ближев Б.И. Корреляция разрезов кунгурского яруса платформенной Башкирии и востока Среднего Поволжья с разрезом классического кунгура // Нижнепермские отложения Камского Предуралья. Пермь, 1973.

Фивег М.П. О некоторых задачах геологического изучения калийных месторождений // Вопросы геологического изучения агрономических руд. М., 1956.

Фивег М.П. Методика поисков калийных солей. Новосибирск, 1967.

Фивег М.П. Поиски и разведка месторождений калийных солей // Месторождения калийных солей СССР. Л., 1973.

Ходьков А.Е. О значении миграции подземных рассолов во вторичном минералообразовании // Вопросы гидрогеологии и гидрохимии. Л., 1966.

Ходьков А.Е., Валуконис Г.Ю. Формирование и геологическая роль подземных вод. Л., 1968.

Хрущев Д.П. О возможности дифференцирования разновозрастных соляных толщ // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 1.

Хрущев Д.П. Литологическая корреляция разновозрастных соленосных толщ // Литология и полезные ископаемые. 1978₁. № 4.

Хрущев Д.П. Методика литологического дифференцирования соленосных толщ и ее использование для решения геологических задач // Осадочные породы и руды. Киев, 1978₂.

Щербина В.Н. Общая характеристика галитовых пород Припятского соляного бассейна // Тр. Ин-та геологических наук АН БССР. Минск, 1961. Вып. 3.

Яржемский Я.Я. К номенклатуре и классификации галогенных пород морского типа // Литология и полезные ископаемые. 1964. № 6.

Яржемский Я.Я. Петрографо-минералогические критерии корреляции соленосных толщ // Осадочные породы и руды. Киев, 1978.

Balk R. Structure of Grand Saline salt dome. Van Zandt Cotinty, Texas // Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull. 1949. Vol. 33, № 11.

Balk R. Salt structure of Jefferson Island salt dome, Iberia and Vermillion Parishes, Louisiana // Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull. 1953. Vol. 37, № 11.

Hofrichter E. Stratigraphy and Structure of the Palangana Salt Dome. Duval County, Texas // The Geol. Society of America. 1968. inc. Special paper 88.

Hoy R., Foose R.M., O'Neill B.J. Structure of Winnifield Salt Dome. Winn Parish, Louisiana // Bul. Amer. Assoc. Petroleum Geol. 1968. Vol. 46, № 8.

Kupfer D. Relationship of internal to external structure of salt domes // Diapirism and Diapirs: Symposium. A. A. P. g. Tulsa, Oklahoma, 1968.

Murrey E. Salt structures of Gulf of Mexico basin – a review // Bul. of the Amer. Ass. of Petr. Geol. 1966. Vol. 50, № 3.

Richter-Bernburg G. Uber salinare Sedimentation // Z. Deutsch. Geol. Ges. 1955. Bd. 105.

Richter-Bernburg G. Geology of Saline Deposits. Proc. Hanover Symp. 1968. (Earth sciences 7) P., 1972.

Научное издание

Свидзинский Сергей Александрович,
Московский Георгий Александрович

**МЕТОДИКА ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
НА МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ
В УСЛОВИЯХ СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ СТРУКТУР**

Редактор *Е.А. Малютина*
Технический редактор *Л.В. Агальцова*
Корректор *Е.Б. Крылова*
Оригинал-макет подготовила *Н.И. Степанова*

Подписано в печать 13.11.2008. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,42 (4,75). Уч.-изд. л. 5,2.
Тираж 100 экз. Заказ 102.

Издательство Саратовского университета.
410012, Саратов, Астраханская, 83.
Типография Издательства Саратовского университета.
410012, Саратов, Астраханская, 83.