Л. М. ГРОХОВСКИЙ, М. А. ГРОХОВСКАЯ

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ

МОСКВА «НЕДРА» 1980

УДК 553.63 : 550.8

Гроховский Л. М., Гроховская М. А. Поиски и разведка месторождений минеральных солей. М., Недра, 1980. 163 с.

В предлагаемой книге рассматриваются: формирование месторождений солей, диагенетические изменения их, условия питания солеродных бассейнов, современный и древний, морской и континентальный галогенез. Основная часть книги посвящена методам поисков и разведки соляных озер, месторождений каменной соли, калийно-магниевых солей, боратов, сульфатов натрия и магния.

Наиболее подробно рассматриваются аспекты, связанные с изучением широко распространенных месторождений поваренной соли и сульфата натрия, имеющих большое практическое значение.

Кроме того, в работе освещаются некоторые вопросы изучения режима соляных озер и их бассейнов, которые могут быть использованы для установления закономерностей древнего соленакопления, а также связи континентального и морского галогенеза.

Книга представляет интерес для геологов и специалистов смежных специальностей, занимающихся изучением современного и древнего соленакопления, поисками и разведкой соляных озер и ископаемых месторождений различных солей.

Табл. 3, список лит.— 46 назв.

Г **20804—019** / **043(01)—80** **29—80** **1904050000**

© Издательство «Недра», 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из задач, стоящих перед советской геологией в свете решений XXV съезда КПСС, является повышение эффективности поисковых и разведочных работ и качества подготовки запасов полезных ископаемых, а также обеспечение опережающего роста разведанных запасов минерального сырья по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности.

Для быстрейшего претворения в жизнь этих задач должны быть пересмотрены и соответствующим образом скорректированы на основе научно-технического прогресса действующие методические рекомендации и инструкции проведения поисковых и разведочных работ.

Это особенно актуально для месторождений солей, отличающихся рядом специфических особенностей, обусловленных исключительной сложностью процессов соленакопления и диагенеза.

Как известно, в последнее десятилетие получены новые фактические данные в области геологии соляных месторождений, геохимии солей, что требует теоретического их обобщения и использования в практике геологоразведочных работ.

Специфика разработки месторождений солей обусловлена не только их физико-химическими свойствами и теми требованиями, которые предъявляются к качеству продукции разными потребителями, но и необходимостью стабильности залежи на весь период эксплуатации.

Настоящая работа является обобщением накопленного опыта в области поисков и разведки современных и древних месторождений различных солей.

ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ И СУЛЬФАТ НАТРИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Природные минеральные соли образуют обширную группу хемогенных осадочных полезных ископаемых, тесно парагенетически связанных условиями образования, нахождения в природе и свойствами. Среди них выделяются: 1) труднорастворимые соли, выпадающие из раствора в осадок при сравнительно низкой минерализации, не только в конечных бассейнах стока вод суши, но и в промежуточных озерах, а иногда и по пути к ним — в поймах рек (к ним относятся карбонаты кальция и магния в виде кальцита, доломита и других минералов) и 2) легкорастворимые соли, выпадающие из растворов сравнительно высокой и очень высокой минерализации, которая достигается только при достаточно большом испарении, главным образом в районах с засушливым климатом. Промежуточное положение между трудно- и легкорастворимыми солями по условиям образования занимают гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и ангидрит ($CaSO_4$), выпадающие из вод невысокой минерализации (растворимость их в разных условиях изменяется от 0,1 до 0,6%); выпадение их часто происходит и при высокой общей минерализации.

Изменения источников питания, их интенсивности и минерализации, как и изменения климатических условий, с чередованием засушливых и увлажненных периодов в районах осадочных бассейнов нередко приводят к чередованию в разрезе пластов и слоев легко- и труднорастворимых солей, а также прослоев, линз и слоев терригенных отложений, к которым чаще всего относятся глинистые и карбонатные обломочные породы. Толщи такого чередования пород в определенном районе А. А. Иванов [26] определяет как соленосные или галогенные формации, относя к ним геологические образования, возникшие в аридных климатических условиях в бассейнах повышенной и высокой соленосности и связанные с определенными тектоническими элементами и структурами Земли. Гипс и ангидрит он также относит к галогенным отложениям, считая что образование этих отложений начинается преимущественным выпадением в осадок сульфатов кальция и заканчивается кристаллизацией различных солей вплоть до наиболее растворимых хлоридов и сульфатов калия, магния и натрия.

Теоретический анализ условий осадконакопления в древние и современную эпохи приведен в капитальном труде Н. М. Страхова [41].

Подробные сведения об особенностях и закономерностях размещения на площади и в стратиграфическом разрезе галогенных формаций на территории СССР (от начала кембрия до конца неогена) и об условиях формирования, вещественном составе и закономерностях размещения месторождений гипса, ангидрита, каменной и калийных солей, а также сульфатных солей натрия приведены в монографии А. А. Иванова и Ю. Ф. Левицкого [27].

Важнейшие итоги исследований геохимии природных солей и физико-химических закономерностей развития солеродных бассейнов, условий кристаллизации, последовательности выпадения минеральных солей и образования их месторождений изложены в монографии М. Г. Валяшко [6]. Автор выдвигает и развивает ряд теоретических положений, обусловливающих и обосновывающих основные закономерности формирования современных и ископаемых месторождений минеральных солей. Эти проблемы освещены также и в других многочисленных статьях и работах. Вопросы современного соленакопления, условия формирования современных озерных месторождений солей, методика их поисков и разведки освещены также в книге Л. М. Гроховского [16].

Необходимо отметить, что, несмотря на большие успехи в области соляной геологии, геохимии солей и разведки их месторождений, многие теоретические положения нуждаются в дальнейшей разработке, проверке и подтверждении дополнительными данными. Разумеется, основные закономерности соленакопления, миграции и осаждения солей, а также источники солей и условия формирования их месторождений в настоящее время установлены с такой степенью достоверности, что позволяют уверенно отбросить многочисленные гипотезы, опирающиеся на единичные факты и противоречащие всей сумме накопленных фактических данных. Так, например, ошибочно признание в качестве основного непосредственного источника солей в соленосных бассейнах эффузивных пород или продуктов вулканической деятельности: оно не учитывает то обстоятельство, что путь растворимых солей в бассейны соленакопления лежит через достаточно длинные и многообразные процессы их гипергенеза, а удельный вес продуктов вулканической деятельности слишком мал, по сравнению с ресурсами солей суши и океана, чтобы успешно конкурировать с ними, и может оцениваться только как местный частный источник. Столь же необоснованны гипотезы образования месторождений каменной соли, калийных солей и даже гипса и ангидрита в результате возгона их компонентов или привноса иным способом из глубинных источников и внедрения в осадочные породы.

Однако некоторые теоретические вопросы, имеющие большое практическое значение, пока остаются невыясненными, трактуются неоднозначно или не увязываются с новыми фактическими данными, требуют нового обоснования и, следовательно, новых практических выводов и решений. К таким вопросам относятся: 1) возможная степень использования данных о современном галогенезе для расшифровки условий и закономерностей древнего соленакопления в разные геологические периоды, начиная от сравнительно молодых до наиболее древних, т. е. границы применения метода актуализма; 2) соотношение и связь континентального и морского галогенеза в различные геологические эпохи; 3) раннедиагенетические превращения минералов и миграция солей в пределах соленосных отложений в период превращения соленосных осадков в породу; 4) связь формирующихся отложений солей с сохраняющейся акваторией и с горизонтами подземных напорных и грунтовых вод в различные геологические периоды при разных физико-географических условиях и формах современного галогенеза; 5) степень участия континентальных источников питания (поверхностных и подземных вод) в питании, привносе терригенного и солевого материала, раннедиагенетических изменениях отложений солей в солеродных бассейнах с морским питанием, на разных этапах развития таких бассейнов и др. Поэтому при проведении поисковых, разведочных и других исследовательских работ на ископаемых или современных месторождениях солей необходимо сопровождать их комплексом наблюдений и исследований, позволяющих полнее осветить актуальные теоретические вопросы соленакопления и более глубоко обосновать обобщенные данные о конкретном объекте.

Основную массу легкорастворимых солей образует сравнительно небольшое число катионов и анионов, среди которых основными являются Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, H^+ и Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^- и CO_3^{2-}. Из них SO_4^{2-} и Cl^- отличаются очень большой подвижностью и мигрируют в основном в ионной форме, при значительно более низком содержании их в земной коре (соответственно 0,05 и 0,045%) по сравнению с Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} и K^+ (единицы процентов, образуют с последними легкоподвижные и легкорастворимые сульфаты и хлориды, которые накапливаются в водах в результате испарения и перемещаются в основном в конечные бассейны стока. Калий задерживается на ранних этапах перемещения из-за поглощения его глинами, почвами, растительностью, а кальций — из-за выпадения его в виде карбонатов, а в засушливых районах — и в виде гипса. В конечном бассейне стока (в океане) содержания ионов, солей и соотношения между ними по сравнению с литосферой существенно изменяются. Так, содержание SO_4^{2-} и Cl^- (в процентах от сухого остатка) составляет 7,8 и 55; значение Ca^{2+}/Mg^{2+} уменьшается от 1,7 (в литосфере) до 0,32 (в океа-

не); значение Na^+/K^+ увеличивается от 1 до 29. На пути с суши из зоны активных процессов гипергенеза в конечные бассейны стока, в океан, происходит существенное перераспределение ионов и солей, меняется их соотношение, а следовательно, и возможная последовательность осаждения под воздействием испарения. Интересно, что континентальный галогенез, континентальные солеродные бассейны, являющиеся промежуточными и временными на пути к океану, в редких случаях сохраняющиеся геологически длительное время, обычно обладают специфическими особенностями солевого и минерального состава галогенных отложений и могут быть более разнообразными, чем галогенные отложения бассейнов, образовавшихся в основном за счет морских и океанических вод.

По данным В. Линдгрена, приведенным В. А. Ковдой [30], в толщах осадочных пород земной коры заключено 17 млн. км^3 различных солей. По мнению А. А. Иванова [26], в связи с открытием новых крупных соленосных бассейнов, общие запасы сульфатов и хлоридов Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+} в осадочном чехле земной коры могут быть в 2—2,5 раза большими и фактически достигать 35—40 млн. км^3 солей.

По мнению А. Б. Ронова, суммарное количество NaCl во всех его видах в соленосных отложениях мира в 5—6 раз меньше его запасов в современных океанах и составляет 3—4 млн. км^3. По А. Полдерварту, содержание NaCl в океане составляет 22 млн. км^3 NaCl, а на суше 3,5—4,5 млн. км^3. Таким образом, из легкорастворимых солей хлористый натрий практически занимает первое место в осадочных породах суши и резко преобладает среди солей в океане.

Для миграции солей по направлению к промежуточным, а затем и к конечным бассейнам стока, как и в самих бассейнах, для их распределения и перераспределения на этом пути, а затем и в галогенных отложениях бассейнов большое значение имеют: различная растворимость солей, ее изменения в зависимости от температуры, pH среды, различных сочетаний катионов и анионов, изменения этих сочетаний при смешении вод с разным составом растворенных в них солей. Это относится к солеродным бассейнам морского и континентального происхождения. Состав соленосных отложений морского бассейна зависит, например, от характера его связи с океаном — непосредственной или через промежуточные бассейны, в которых может избирательно выпадать часть солей; от соотношения поступающих в него морских вод и вод суши, которое может существенно изменяться в процессе развития этого бассейна, и, разумеется, от аридности климата и величины испарения, также не остающихся постоянными.

Для процессов миграции, перераспределения солей, галогенной седиментации и раннего диагенеза соленосных осадков весьма существенной представляется различная растворимость

карбонатов и бикарбонатов. Так, при крайне низкой растворимости карбонатов кальция и магния, составляющей всего 0,0014 и 0,0016%, близкой к растворимости $Mg(OH)_2$, растворимость $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$ в 100 и более раз выше. Поэтому изменение pH среды, содержания CO_2, температуры может то способствовать их растворению, то переводить их в осадок, что особенно заметно при смешении вод неодинаковой концентрации и состава растворенных солей. Этими свойствами, в частности, обусловливаются процессы метаморфизации рассолов солеродных бассейнов, а также межкристальной рапы при поступлении в бассейн подземных вод. В континентальном галогенезе заметную роль играет высокая растворимость карбоната и бикарбоната натрия, зависящая от температурных изменений.

Большое значение для процессов галогенеза имеют различия в растворимости сульфатов и хлоридов щелочноземельных и щелочных элементов I и II групп. Так, растворимость $CaSO_4$, не превышающая 0,2% в пресной воде, в концентрированных рассолах других солей, в частности NaCl, увеличивается до 0,7%. В то же время растворимость $CaC1_2$ при 20° С достигает 42,7% и с повышением температуры увеличивается.

Аналогично соотношение растворимости $SrSO_4$ и $SrCl_2$, но оно еще более контрастно, так как растворимость сульфата стронция на два порядка ниже, чем сульфата кальция. Растворимость в воде KCl изменяется от 21,90% при 0°С; 25,4% при 20° С; 28% при 40° С и до 35,9% при 100° С, а K_2SO_4 — от 7,3% при 0°С; 10% при 10°С; 14,8% при 40°С и до 19,4% при 100°С. Растворимость в воде $MgCl_2$ изменяется в зависимости от температуры сравнительно мало, составляя при 0° С около 33%, при 20° С 35,3%, при 100° С 42,2%, а $MgSO_4$ соответственно — около 20; 26,4 и 33%.

Хлориды и сульфаты натрия по характеру растворимости существенно отличаются от приведенных выше солей. В то время как растворимость в воде хлористого натрия в зависимости от температуры меняется очень мало, составляя при 0°С 26,28%, при 20°С 26,35%, при 40°С 26,68%, и при 100°С 28,15%, растворимость сульфата натрия изменяется очень сильно, составляя при 0°С всего 4,5%, при 20° С 16,1%, при 32,38° С 33,2%, при 40° С 32,5%, при 100° С 29,9%. Разная растворимость солей в зависимости от температуры тесно связана со способностью многих из них образовывать кристаллогидраты с различным количеством молекул воды, образующихся и существующих в определенных температурных интервалах. Так, Na_2SO_4, при температуре ниже 32,38° С образует десятиводную соль — мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, а при приведенной температуре переходит в безводную соль — тенардит. Температура этого перехода при присутствии в растворе NaCl может снижаться до 17,9°, а при присутствии магниевых солей — поч-

ти до 16,2° С. Необходимо отметить, что наличие в растворе и тем более насыщение его NaCl, как и магниевыми солями, вызывает уменьшение растворимости Na_2SO_4 и его выпадение из раствора при температурах более низких, чем указанные выше, в виде мирабилита, а при более высоких —в виде тенардита. Этот процесс называется высаливанием и нередко применяется в производстве.

При насыщении раствора NaCl и $MgCl_2$ растворимость Na_2SO_4 при 0° С не превышает 0,5%.

Минеральная форма соли, выпадающей из раствора NaCl, при температурах от 0 до 100° С практически не изменяется — это галит. Изменяется главным образом характер его кристаллов— от «лодочек», образующихся при испарении раствора на его поверхности; плавающих, а затем утяжеляющихся и падающих на дно, ломающихся и дающих начало неполногранным кристаллам зубовидной формы, обычно заключающим большое количество жидких включений, до полногранных кристаллов кубической формы или сростков их —так называемой гранатки, в которых только угадываются зародышевые формы обломков «лодочек», а кристаллизация или перекристаллизация происходит под воздействием высаливания, часто вызванного смешением рассолов неодинакового состава. При температурах ниже +0,1° С из растворов выпадает гидрогалит $NaCl \cdot 2H_2O$, который при положительных температурах снова переходит в раствор.

Все это относится и к $MgSO_4$, образующему при отрицательных температурах двенадцативодный сульфат магния $MgSO_4 \times 12H_2O$, при положительных (в зависимости от температуры, состава и концентрации солей в растворе)—эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, гексагидрит $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ и кизерит $MgSO_4 \cdot H_2O$. Соответственно изменяется и растворимость этих солей. Интересно, что в растворе, насыщенном $MgCl_2$, растворимость $MgSO_4$ при 0° С снижается до 1,3%; $MgCl_2$ при положительных температурах в природных условиях образует один кристаллогидрат— бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

В значительной степени это относится и к изменениям совместной растворимости KCl, образующего только один минерал — сильвин, растворимость которого в интервале от 0 до 100° С в отличие от NaCl изменяется почти в два раза, с NaCl, K_2SO_4, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$ и, очевидно, $SrCl_2$. Характер изменения растворимости солей разного состава в различных диапазонах температур усложняется из-за склонности некоторых солей, особенно калийных, образовывать двойные и даже тройные соли, включающие соли с различной растворимостью. К ним относятся карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, каинит $KCl \times MgSO_4 \cdot 3H_2O$, лангбейнит $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, шенит $K_2SO_4 \times MgSO_4 \cdot 6H_2O$, глазерит $3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$, сингенит $K_2SO_4 \times CaSO_4 \cdot H_2O$, полигалит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$, астра-

ханит $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$, глауберит $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$, тахгидрит $CaCl_2 \cdot 2MgCl_2 \cdot 2H_2O$ и др.

Важнейшими факторами, определяющими состав соленосных отложений, соотношение в них терригенного и галогенного материала, чередование в разрезе солеродного бассейна различных солей, их чистоту или загрязненность, а также характер их раннедиагенетических изменений, являются условия питания этих бассейнов, характер и водообильность источников питания, минерализация и состав солей растворенных в водах этих источников, их стабильность и соотношение количества вод и солей, поступающих из каждого источника, изменение этого соотношения на различных этапах развития солеродного бассейна. При этом необходимо учитывать не только воды и соли, поступающие в этот бассейн, но и те, которые он теряет. Кроме испарения, при котором удаляется главным образом вода, возможен отток рапы или рассолов как по постоянно или периодически действующим поверхностным водотокам, так и в результате перелива их в горизонт грунтовых вод через соровую или пляжевую полосу и опускания их из-за большей плотности по сравнению с подземными водами в более глубокие водоносные горизонты. Следует отметить, что практически все солеродные бассейны имеют не один, а несколько источников питания. Одни из них главные, другие — второстепенные. Однако на протяжении развития бассейна главные источники могут отходить на второе место, а второстепенные — становиться основными, что обычно связано с изменением характера и состава садки солей в бассейне и с изменением уже выпавших солей. Так, например в бассейнах, питающихся в основном водами моря, второе место обычно занимают поверхностные воды суши, ее грунтовые и более глубокие напорные подземные воды. Позже, при уменьшении притока морских вод, воды суши начинают играть более существенную роль, особенно в диагенетических процессах. На определенную последовательность выпадения солей, определяемую физико-химическими закономерностями развития водно-солевых систем, накладываются особенности условий и источников питания, их стабильности, состава и режима.

Хлористый натрий в процессах галогенеза занимает особое место. Преобладание его над другими легкорастворимыми солями в водах морей и океанов, на суше (в виде мощных соляных залежей, толщ засоленных пород), в соленых подземных водах и в большей части текучих вод (исключая бикарбонаты кальция и магния, выпадающие в основном из почти пресных и слабосоленых вод) и не очень высокая растворимость его по сравнению с другими легкорастворимыми солями обусловливают наиболее широкое распространение его в древних и современных бассейнах, где он в основном выпадает и образует большую часть соленосной толщи. В связи с малыми колеба-

ниями растворимости хлористого натрия при изменениях температуры он выпадает из поверхностной рапы солеродных бассейнов в результате ее испарения в основном во второй половине лета и осенью. В зимне-весенний период из-за ничтожного испарения воды и обычного в это время года разбавления рапы выпадающими осадками, увеличивающими общее поступление в бассейн слабоминерализованных вод, выпавшая летом и осенью новосадка галита полностью или частично растворяется. В тех случаях, когда выпавшая из рапы новосадка в течение нескольких лет растворяется не полностью, на дне солеродного бассейна обычно образуется слой соли, называемый старосадкой. При дальнейшем ее накоплении происходит перекристаллизация старосадки и образование корневой соли — гранатки, каратуза. Так называемая чугунка, представляющая плотный монолитный галит, обычно замещает корневую соль, а нередко и старосадку на участках, где в бассейн поступают сильноминерализованные, грунтовые или напорные подземные воды.

В развитии соляного бассейна М. Г. Валяшко [6] выделяет две стадии: 1) подготовительную, характеризующуюся постепенным повышением минерализации воды бассейна и накоплением в ней возрастающих запасов солей, и 2) самосадочного бассейна, наступающую с момента достижения водой (рапой) бассейна насыщения одним из периодических минералов и выпадения его в осадок. В развивающихся самосадочных бассейнах М. Г. Валяшко предлагает различать также две стадии: рапных и «сухих» самосадочных бассейнов. Первая стадия характеризуется тем, что объем жидкой фазы (рапы) бассейна заметно больше объема твердых отложений; во вторую стадию объем жидкой фазы в бассейне близок к объему твердых отложений; летом слой поверхностной рапы исчезает, уходя в донные отложения.

Процессы, протекающие в соляных бассейнах, обычно делят на циклические, периодические и постоянные, или труднообратимые. К циклическим относят процессы, обусловленные изменением метеорологических факторов в течение года. Периодические процессы вызываются многолетними колебаниями климатических условий, например чередованием ряда засушливых лет с годами повышенного увлажнения. После годичного цикла в состоянии бассейна, как правило, заметных изменений не наблюдается. Периодические процессы придают определенную направленность циклическим процессам, усиливая их действие в том или ином направлении, т. е. усиливая или ослабляя концентрирование солей в рапе, образование из новосадки старосадки, частичное или полное растворение последней. Сочетание этих процессов может приводить к быстрому изменению концентрации и состава солей в рапе, отложению солей. Эти процессы легкообратимы, но обычно полного повторения результатов каждого цикла, а тем более периода не наблюдается.

Постоянные процессы, названные Н. С. Курнаковым [34] процессами метаморфизации рассолов, медленно, постепенно и односторонне изменяют состав рапы (рассола) соляного бассейна. Они сопровождаются осадкой из рапы труднорастворимых солей.

Необходимо отметить, что переход соляного бассейна из подготовительной стадии в стадию самосадочного бассейна чаще всего происходит при изменении условий его питания, обычно при уменьшении притока вод из основного источника и связанного с этим резкого уменьшения уровней рапы и объема жидкой фазы при тех же величинах испарения. До достижения нового равновесия, на что требуется не менее нескольких лет, обычно ежегодно выпадает значительное количество соли, большей частью галита. При установившемся же равновесии между притоком и испарением обычно выпадает солей меньше, чем при неравновесном состоянии. Второстепенные источники вод и солей могут иметь те же, а иногда и увеличенные притоки в результате снижения уровня рапы и соответствующего увеличения напора или других причин. Возрастающая роль их нередко приводит к изменению состава выпадающих солей, увеличению содержания в них тех или иных примесей. Новое нарушение равновесия приводит к аналогичным последствиям и нередко завершается переходом рапного бассейна в «сухой». Нередки нарушения равновесия и в обратном направлении: увеличение притока, иногда уменьшение или изменение минерализации и состава солей может вызвать опреснение бассейна, частичное растворение ранее отложившихся солей, их заиливание вследствие поступления терригенного материала и выпадения аутигенных труднорастворимых соединений, например гипса, карбонатов кальция и магния, кремнезема, силикатов магния и других, образующих слои различной мощности (от нескольких сантиметров до нескольких метров).

В зависимости от состава солей, растворенных в рапе бассейна и в водах источников питающих его, особенно при небольшом содержании в них сульфатов или магния, выпадение чистого, с небольшим количеством примесей, галита может продолжаться очень долго. Напротив, при высоком их содержании оно сравнительно быстро сменяется выпадением галита, сильно загрязненного не только часто сопровождающим его гипсом, но и сульфатами магния и натрия, главным образом в виде эпсомита и астраханита, иногда кашеобразным глауберитом, вплоть до выпадения смешанной соли, в которой содержание сульфатов натрия и магния может достигать 30—40%. В дальнейшем, на стадии перехода бассейна в сухое озеро возможно выпадение калийных солей, главным образом в виде карналлита. Выпадением калийных солей обычно завершается цикл соленакопления. Иногда он продолжается стадией выпадения бишофита, в континентальных бассейнах он может завершаться

и выпадением тахгидрита. Судя по ископаемым месторождениям солей, значительная или небольшая часть циклов остается (по М. П. Фивегу) незавершенной и заканчивается выпадением галита, с большим или меньшим количеством примесей.

Однако приведенный выше общий ход соленакопления в солеродных бассейнах большей частью осложняется сочетанием приведенных выше годичных изотермических циклов, приводящих к садке тех или иных солей в результате испарения и повышения концентрации солей в рапе, с политермическими циклами, обычно сопровождающимися выпадением в осадок солей, растворимость которых уменьшается с понижением температуры, т. е. чаще всего с окончанием испарительного сезона поздней осенью и зимой.

При относительно повышенном содержании в воде источников питания и в рапе сульфат-иона, полностью не осаждающегося в виде гипса и постепенно накопляющегося, нередко еще до начала выпадения галита, а затем и параллельно с ним в холодное время года, поздней осенью и зимой, из рапы обычно выпадает мирабилит. Длительное время новосадка мирабилита полностью растворяется весной, в большей степени в результате прогрева рапы и в меньшей — вследствие зимне-весеннего разбавления рапы. Выпадение новосадки мирабилита обычно происходит во всем слое поверхностной рапы в виде мелких агрегатов игольчатой формы, неполногранных, заполненных рапой, с низкой объемной массой, плавающих в полувзвешенном состоянии, постепенно оседающих на дно и образующих слой очень рыхлого осадка. Перемещениями рапы (так называемыми сгонно-нагонными явлениями) этот осадок частично выбрасывается на берег и пляжевую полосу, где летом обезвоживается и разносится ветром, а при неровном дне — заполняет углубления, образуя слой такой мощности, который уплотняется под собственной тяжестью и летом в теплой зоне может полностью не раствориться. Так зарождаются линзы и пласты мирабилита в благоприятные для этого периоды. В зимнее время иногда выпадает новосадка гидрогалита, но весной она быстро растворяется.

При повышении содержания в рапе иона магния количество выпадающей новосадки мирабилита постепенно уменьшается, а затем может начаться выпадение эпсомита. Он выпадает чаще всего в осенне-зимние сезоны, характеризующиеся малым количеством осадков после жаркого лета. Возможно выпадение эпсомита и ранней осенью. Иногда при соответствующем составе рапы и достаточно высокой концентрации в ней солей из рапы выпадает первичный астраханит. Чаще всего и эпсомит и астраханит выпадают совместно с галитом.

Приведенные выше данные, обобщающие результаты наблюдений за выпадением солей в современных озерных и морских бассейнах, в какой-то мере могут быть применены и к древним

солеродным бассейнам разумеется, с учетом различий в физико-географических условиях, характере источников питания, и других параметров среды, так как общие физико-химические и геохимические закономерности соленакопления, выявленные на современных бассейнах, действовали на протяжении всего исторического времени, начиная с кембрия, возможно и в более ранние периоды развития земной коры и океанов. При сопоставлении древних солеродных бассейнов с современными, следует учитывать, что отложения древних бассейнов в дошедшем до нас виде по сравнению с первично отложившимся в них осадком претерпели очень большие изменения, заключавшиеся не только в его уплотнении, но и в перекристаллизации, существенных изменениях химического и минерального состава. Интересно, что в современных соляных озерах корневая соль, представленная гранаткой, каратузом или чугункой, содержит значительно меньшее количество примесей других солей, чем старосадка и новосадка. По-видимому, они удаляются в процессе перекристаллизации солей, чему способствует крупная и высокая пористость этих отложений, большей частью достигающая: 20—30%. Ознакомление с разрезами многих месторождений каменной соли показывает, что пласты и слои ее, как правило, содержат незначительное количество легкорастворимых примесей, редко превышающее десятые доли процента, и более значительное— ангидрита или гипса, достигающее 2—5%, а также нерастворимых примесей, которые или равномерно рассеяны в пласте или образуют прослойки разной толщины, в которых преобладают карбонаты, иногда ангидрит, иногда глинистый материал. Встречается и глауберит, реже — полигалит. В комплексных месторождениях каменной соли, калийных и магниевых солей пласты и слой каменной соли также обычно содержат сравнительно мало этих солей, образующих самостоятельные пласты, иногда с высоким содержанием галита.

Современные месторождения сульфата натрия, заключенного в солевых отложениях, в поверхностной и межкристальной рапе, отличаются от месторождений галита в основном своим режимом, характером связи с источниками питания, среди которых чаще всего основную роль играют воды рек или моря на сравнительно ранних стадиях развития соляного озера и грунтовые, иногда напорные подземные воды — на более поздних стадиях, часто отвечающих состоянию «сухого» соляного озера. Большое, если не решающее, значение для образования таких месторождений имеет повышенное содержание сульфат-иона в источниках питания соляного озера. Важна и степень проточности озера для грунтовых вод. В зависимости от этого в озере происходит или накопление галита и сульфатных минералов (в конечном озере), или избирательное накопление одних солей, главным образом сульфатов натрия, и вынос — других, например хлоридов натрия и магния (в проточном озе-

ре), происходящие с определенными закономерными изменениями состава рапы и солевых отложений озера и отражающие его развитие. Эти месторождения (в отличие от ископаемых) представляют современные, «живые», развивающиеся водно-солевые системы, в которых и сейчас происходят изменения жидкой и твердой фаз, иногда медленные и малозаметные, а иногда быстрые, результаты которых можно наблюдать через немногие десятилетия и даже годы. При этом прогрессивные периоды развития могут сменяться регрессивными и снова прогрессивными. Поэтому очень важно правильно определить направление и скорость развития изучаемого объекта. Подробнее эти вопросы рассмотрены в книге Л. М. Гроховского [16].

Ископаемые месторождения сульфата натрия, в основном палеоген-неогенового возраста, представлены обычно пластами уже уплотнившихся солей со сравнительно низкой пористостью. В зависимости от их положения по отношению к рельефу, геологическим структурам, водоносным горизонтам, а также от степени засушливости климата все они находятся в состоянии постепенного разрушения и растворения солей, в одних случаях очень медленного, незаметного, в других — особенно при выходах их на поверхность земли — довольно быстрого, заметного за немногие десятилетия.

ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К КАЧЕСТВУ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ И СУЛЬФАТА НАТРИЯ

Поваренная соль (хлористый натрий, минерал галит), в обиходе до сих пор называемая просто солью, используется человечеством с древних времен. Название поваренная соль, по-видимому, связано с широко распространенным в X—XVII вв. способом получения ее путем выпарки или выварки природных рассолов в варницах — плоских котлах-чренах. Соль получали и путем испарения морской воды и последующего сгущения рассолов в системе бассейнов. Этот способ до сих пор практикуется, например в Крыму. В осадочных бассейнах, как и в варницах, в результате испарения из рассола воды и насыщения их хлористым натрием, последний выпадал в виде кристаллов минерала галита (от греческого «халос» — соль). Высокая чистота получаемой таким путем соли способствовала тому, что подобные производства сохранились и до настоящего времени. Способом вакуумной выпарки рассолов сейчас получают поваренную соль высшего сорта и экстра.

Столь же давно в засушливых районах добывали древнюю, ископаемую соль, выламывая ее в тех местах, где она выходит на поверхность земли в виде обнажений (Соль-Илецк, Камыш-Курган, Кочкорка, Чапчачи) или в виде целых соляных гор (Ходжа-Мумын, Ходжа-Сартис, Ходжаикан и др.). Позже на-

чалась добыча ее шахтным способом. Ископаемую горную породу стали называть каменной солью. Как и выварочная соль, она состоит главным образом из минерала галита, но большей частью загрязненного различными примесями, представленными в основном хлоридами и сульфатами калия, натрия, магния, кальция, легко-, и труднорастворимыми: ангидритом, гипсом, глауберитом, полигалитом, доломитом, а также глинистым материалом. Каменная соль высокой чистоты встречается редко, поэтому в ряде случаев ее очищали растворением в воде, испарением рассола в бассейнах и садкой в них чистой соли. Такие бассейны до сих пор действуют, например на Ходжа-Мумынском и Камыш-Курганском месторождениях.

Очень давно привлекали внимание человека соляные озера,, расположенные в степной и полупустынной зонах, в которых происходило выпадение галита из рассола-рапы, сгущенного вследствие летнего испарения. Выпавшую за летний сезон соль называли новосадкой, осенью ее сгребали и выволакивали на берег. Эту соль называли выволочной, а впоследствии самосадочной солью. В других соляных озерах на дне имелся мощный пласт соли, иногда в летнее время он в результате усиленного испарения воды обнажался на поверхности. Такие соляные озера получили название «сухих» озер в отличие от рапных, в которых круглый год сохранялась поверхностная рапа, а залегающая под слоем новосадки соль именовалась старосадкой, гранаткой, чугункой. Среди них наиболее известны оз. Эльтон, Баскунчак, Индер. Промышленная добыча соли на оз. Эльтон началась в 1655 г., на оз. Баскунчак — в XIX в. Несмотря на тяжелый ручной труд, озерная соль вытесняла выварочную соль, успешно конкурируя с каменной солью. После изобретения в 1925 г. Ю. А. Макаровым солесоса, резко увеличившего производительность труда и снизившего себестоимость добычи, добыча соли из озер резко возросла и по масштабу не уступает добыче ископаемой каменной соли.

В последние десятилетия широко распространился способ подземного выщелачивания каменной соли с получением насыщенного рассола, используемого для производства соды, хлора, едкого натра и выварочной пищевой соли. При этом нерастворимые в воде примеси, а также большая часть сульфата кальция остается в камерах выщелачивания.

Использование хлористого натрия в самых разнообразных производствах многих отраслей промышленности и сельского хозяйства, а также в быту для пищевых и других целей обусловливает существенные различия в требованиях к нему конкретных потребителей. Однако наибольшее количество соли пока используется для приготовления пищи и в пищевой промышленности (до 60%), требования к ее качеству здесь высоки. Поэтому основным документом, регламентирующим качество поваренной соли, которого придерживается большая часть потре-

Таблица 1

Сорт	NaCl (не менее)	Нерастворимый в воде остаток (не более)	Предельное содержание			
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Fe_2O_3
Экстра	99,7	0,03	0,02	0,01	0,16	0,005
Высший	98,4	0,16	0,35	0,05	0,8	0,005
Первый	97,7	0,45	0,5	0,1	1,2	0,01
Второй	97,0	0,85	0,65	0,25	1,5	0,01

бителей и поставщиков соли, является действующий в настоящее время ГОСТ 13830—68 на пищевую поваренную соль (табл. 1). Его необходимо принимать во внимание и геологам при выявлении и разведке месторождений поваренной соли. Но при этом следует учитывать особенности месторождений и способы разработки соли, которые в одних случаях могут даже несколько ухудшать качество соли, а в других значительно улучшать его, освобождать от тех или иных примесей, повышая содержание полезного компонента. Возможно применение различных способов обогащения с учетом экономической их целесообразности.

ГОСТ 13830—68 предъявляет следующие требования к химическому составу поваренной соли (в процентах на сухое вещество):

В ГОСТе выделяются каменная соль, самосадочная, садочная (бассейновая) и выварочная соль, с неодинаковыми требованиями к ним по содержанию влаги, которая в каменной соли не должна превышать 0,25%, а в других видах соли, в зависимости от сорта, допускается от 3,2 до 6%. Содержание в соли Na_2SO_4 не должно превышать 0,2% для сорта экстра и 0,5% для остальных сортов. В соли Артемовского месторождения допускается присутствие темных частиц (ангидрита) в пределах норм содержания иона SO_4^{2-}, Солотвинского месторождения — в пределах норм содержания нерастворимого в воде остатка, в соли «глыба» Нахичеванского месторждения — 93% NaCl и до 5% нерастворимого остатка. В выварочной соли заводов Западной Украины допускается присутствие калия до 0,42%. Так называемая техническая соль должна содержать не менее 93% NaCl, а содержание в ней примесей лимитируется в зависимости от назначения соли.

По способу добычи и обработки пищевая поваренная соль разделяется на мелкокристаллическую (выварочную), молотую разных видов и крупности помола, комовую (глыба), дробленку и зерновую. ГОСТ 13830—68 дает большие возможности варьирования качества используемой соли не только для пищевых целей, но и для самых разнообразных назначений. Так, для

кормовых целей обычно используется соль «глыба» (лизунец), иногда брикетированная и молотая, с содержанием NaCl, соответствующем требованиям к технической соли. Для засола рыбы в рыбной промышленности используется большое количество крупнозернистой соли—дробленой каменной соли или озерной самосадочной — гранатки и каратуза. Основное требование, предъявляемое к ней,— минимальное содержание иона магния; допускается большее содержание в ней нерастворимых примесей, чем для второго сорта.

Вторым, наиболее крупным потребителем соли является химическая промышленность, использующая ее в большом числе производств; наиболее массовые из них — производство едкого натра (каустической соды), хлора, кальцинированной и двууглекислой соды.

Для принятого в СССР заводского метода производства кальцинированной соды по аммиачному способу из поваренной соли и известняка (мела) используется рассол, с содержанием в нем не менее 310—315 г/л NaCl. Единых официально утвержденных требований к соли и к рассолу для содового производства нет. В общем виде соль для этого назначения должна удовлетворять требованиям ГОСТа 13830—68 ко второму сорту. По опыту производства соль должна содержать не менее 96—96,5% NaCl и не более: 0,63% K^+; 0,63% Ca^{2+}; 0,05% Mg^{2+}; 1,40% SO_4^{2-}. В рассоле должно быть : не менее 300, лучше 310 г/л NaCl и не более 2 г/л Ca^{2+}, 1 г/л Mg^{2+}, 2 г/л K^+, 4,5 г/л SO_4^{2-}. Однако требования эти не являются строго предельными и могут существенно меняться: с одной стороны, ужесточаться в целях получения соды более высокого качества, а с другой — ослабляться в зависимости от особенностей соли конкретных месторождений, способа добычи ее и от экономической целесообразности применения сравнительно простых способов обогащения.

При добыче из месторождения рассола методом подземного выщелачивания нерастворимые примеси и большая часть ангидрита или гипса остаются в полостях выщелачивания и в рассол, извлекаемый на поверхность, не попадают. Поэтому при таком методе добычи можно использовать каменную соль с пониженным содержанием NaCl и с повышенным — нерастворимого остатка и $CaSO_4$. В последнее время наибольшее распространение получил метод ступенчатого подземного выщелачивания, имеющий большие преимущества перед другими методами, заключающиеся в возможности: 1) получения камер относительно правильной цилиндрической формы и контроля за их развитием; 2) более эффективного использования месторождений с меньшими, чем при других способах выщелачивания, потерями, с лучшими условиями отстаивания рассола; 3) отделения нерастворимого остатка и гипса; 4) применения коагулян-

тов и реактивов для очистки рассола при повышенном содержании Mg^{2+}, Ca^{2+} или SO_4^{2-} непосредственно в камере выщелачивания. Наиболее удобны для применения этого метода выщелачивания пласты солей мощностью несколько десятков и сотен метров при горизонтальном залегании соли или в соляно-купольных структурах. Диаметр образующихся камер выщелачивания обычно близок, при соответствующем контроле, к 80—100 м, поэтому увеличение высоты камер (мощности пласта) прямо сказывается на эффективности добычи соли. Одна эксплуатационная скважина в зависимости от мощности пласта может служить от 5—10 до 15—20 лет. Если учесть, что оборудование каждой новой эксплуатационной скважины и приведение камеры в рабочее состояние (разработка первичной камеры) требует 300—400 дней до получения кондиционного по насыщенности NaCl (310 г/л) рассола, то экономический эффект продления работы каждой рабочей камеры становится очевидным. По этой же причине для успешного развития камер обычно требуется, чтобы в нижней части пласта соли залегал слой галита мощностью 7—10 м с содержанием NaCl не менее 95%. В то же время опыт разработки показывает, что среднее по пласту содержание NaCl может снижаться до 70% и соответственно содержание нерастворимого остатка и $CaSO_4$ не должно превышать 30%, так как при более высоком их содержании заполнение камеры рыхлыми осадками будет мешать успешному выщелачиванию соли. В этот объем (30%) включаются и все несоляные прослои, которые при выщелачивании обрушиваются и падают на ее дно. Минимальная мощность необрушивающихся прослоев определяется изучением их физико-механических свойств, содержания в них растворимых солей и обычно составляет не менее 3—5 м. После каждого такого прослоя камеру приходится разрабатывать заново.

При оценке качества рассола, который может быть получен из соли, следует учитывать, что в растворимую в воде часть переходит весь $CaSO_4$, если содержание его в соли не превышает 4—6%, остальная часть остается в нерастворимом остатке. Фактически из соли в кондиционный рассол переходит не более 0,5—0,6% $CaSO_4$ в соответствии с его растворимостью в рассоле. В то же время часть иона Ca^{2+} может быть связана в виде $CaCl_2$, имеющего более высокую растворимость, чем NaCl, а часть сульфат-иона — в виде $MgSO_4$ или Na_2SO_4, также хорошо растворимого. Поэтому во всех случаях необходим пересчет анализов из ионной в солевую форму, а в кондициях или технических условиях на соль или рассол конкретного месторождения необходимо указывать предельные содержания не только ионов, но и этих солей, а также мероприятия по очистке рассола. Для удаления избытка иона Ca^{2+} обычно в рассол вводят соду, осаждающую частично и ион Mg^{2+}. Более полное его осаждение осуществляется введением едкого натра.

Применяется также известково-содовая и известково-сульфатно-содовая очистки. Целесообразность их применения определяется технико-экономическими расчетами. В кровле камер обычно оставляют целики соли мощностью от 10 до 100 м, которые рассчитывают для каждого конкретного случая. Рассолы для производства соды добываются методом подземного выщелачивания на Славянском, Ново-Карфагенском, Яр-Бишкадакском и некоторых других месторождениях.

Производство едкого натра и хлора из поваренной соли в СССР производится в основном путем электролиза растворов соли. При этом в зависимости от назначения и необходимой чистоты продукта (NaOH) применяется два основных способа: диафрагменный метод, или метод с железным катодом, и электролиз с ртутным катодом. Последний применяется для получения наиболее высококачественного едкого натра с минимальным количеством примесей. Для получения металлического натрия и попутного хлора применяется электролиз расплава хлористого натрия.

Для диафрагменного метода электролиза большей частью применяются рассолы, получаемые методом подземного выщелачивания каменной соли. Требования к качеству соли для этого назначения близки к требованиям ГОСТа 13830—68 к соли высшего сорта. Требования к содержанию нерастворимого остатка такие же, как и к соли для производства соды. Содержание ионов должно быть (не более): Ca^{2+} 0,4%; Mg^{2+} 0,05%; SO_4^{2-} 0,84%; K^+ 0,2%. В рассоле допускаются следующие содержания: NaCl 310 г/л (не менее); Ca^{2+} 1,27 г/л; Mg^{2+} 0,16 г/л; SO_4^{2-} 2,68 г/л; K^+ 0,64 г/л. Как правило, рассол для электролиза дополнительно очищается, поэтому, как и в содовом производстве, возможно некоторое снижение требований к содержанию вредных примесей при соответствующем технико-экономическом обосновании дополнительных затрат на очистку.

При электролизе с ртутным катодом для получения NaOH повышенной чистоты с минимальным содержанием примесей большей частью используется поваренная соль (каменная или озерная). Из нее приготовляют сырой рассол, который затем очищают или вакуум-выпаркой из него получают кристаллическую соль, из которой готовят рассол для электролиза. Для этой цели используется и выварочная соль. Рассол, получаемый методом подземного выщелачивания соли, используется непосредственно для электролиза с ртутным катодом сравнительно редко. Чаще после очистки из него вакуум-выпаркой получают кристаллический NaCl, а из последнего — рассол для электролиза. Это объясняется тем, что каменная (и озерная) соль многих месторождений содержит так называемые амальгамные ядыг—соли тяжелых металлов, которые даже при ничтожном содержании мешают нормальному ходу электролиза, выделяя на поверхности ртутного катода слишком большое количество

пузырьков водорода, препятствующих образованию амальгамы натрия и нарушающих ход процесса. В ряде случаев целесообразно совмещение на одном предприятии диафрагменного метода с электролизом с ртутным катодом. При этом для второго способа может использоваться так называемая выпарная перекристаллизованная поваренная соль из цеха выпарки диафрагменного способа электролиза. s

В соли, предназначенной для электролиза с ртутным катодом, содержание NaCl и приведенных выше вредных примесей такое же, как и в соли для электролиза с железным катодом, за исключением иона калия, содержание которого не должно превышать 0,02%. То же относится и к рассолу, в котором содержание иона K^+ не должно быть выше 0,64 г/л. Более жесткие требования к содержанию калия объясняются трудностью его отделения, связанной с перекристаллизацией соли и образованием больших количеств маточника, подлежащего сбросу, а также назначением полученного этим методом едкого натра, в котором допускается содержание K^+ не более 0,01%, а иногда и следов. Для определения содержания в соли и в полученном из нее рассоле амальгамных ядов производится амальгамная проба, которая заключается в приготовлении сырого рассола, его стандартной очистке и производстве электролиза этого рассола в условиях отвода и присутствия свободного хлора, а также в разных термических условиях. Определение содержания тяжелых металлов и увязка его с количеством выделившихся на ртутном катоде пузырьков водорода пока не дала положительных результатов. Поэтому определение производится эмпирическим путем — замером объема пузырьков водорода, выделившихся на катоде за определенный промежуток времени — 30 мин и за 2 ч в указанных выше условиях. Рассол, а следовательно, и соль считаются пригодными, если за 30 мин выделялось не более 0,3 $см^3$ водорода, а за 3 ч — не более 5,0 $см^3$. При большем выделении водорода соль может считаться пригодной только «на кристалл», т. е. после ее перекристаллизации.

Жесткость требований к соли и к рассолу для получения едкого натра обусловлена как необходимостью минимальных затрат на обогащение и правильного ведения технологического процесса электролиза, так и требованиями к качеству едкого натра, предусмотренными ГОСТом 2263—71 на едкий натр технический, получаемый диафрагменным и ртутным методами электролиза раствора хлористого натрия и химическим методом для использования в химической, целлюлозно-бумажной, хлопчатобумажной, меховой, трикотажной и в других отраслях промышленности, и ГОСТом 5.830—71 на натр едкий улучшенный, получаемый электрохимическим методом с ртутным катодом для использований в производстве искусственного волокна и вискозной целлюлозы, высокопрочного корда, волокна «нит-

рон» и др. При крайне низком содержании всех примесей содержание в нем калия не должно быть выше 0,0001%.

Разработка месторождений каменной соли методом подземного выщелачивания может производиться до глубин 1800 — 2000 м. Разработка ее шахтным способом пока производится до глубин 500—600 м. Требования к качеству добываемой этим способом каменной соли наиболее жестки и по содержанию NaCl и вредных примесей обычно регламентируются в строгом соответствии с гостом на пищевую соль и с другими гостами или техническими условиями: обогащение каменной соли обычно трудоемко и дорого по сравнению с методом подземного выщелачивания в связи с необходимостью дополнительного дробления, растворения и отстаивания рассола в крупных емкостях. В отдельных случаях, когда соль содержит ничтожное количество растворимых примесей и не удовлетворяет ГОСТу 13830—68 только по содержанию нерастворимого остатка, целесообразно обогащение ее дроблением и промывкой.

Поваренная соль озерных месторождений в отличие от месторождений каменной соли обычно хорошо обогащается в процессе добычи ее солесосами или солекомбайнами за счет промывки ее рапой, а иногда дополнительно на береговых установках. Так, на оз. Бурлинском соль орошается пресной водой для удаления сульфатов магния и натрия. Для того, чтобы добываемая соль не загрязнялась мирабилитом, выпадающим в порах пласта галита и на его поверхности зимой, добыча соли производится сезонно — с марта — апреля до октября — ноября. Учитывая большие различия в качественной характеристике и химическом составе соли практически каждого месторождения каменной и озерной соли, основные параметры качества соли (минимальное содержание NaCl и максимально допустимые содержания вредных примесей) определяются для каждого конкретного месторождения на основе требований промышленности и технико-экономических расчетов.

Сульфат натрия впервые был получен в 1645 г. немецким химиком и врачом Иоганном Глаубером из поваренной соли и серной кислоты. Природный мирабилит был открыт в 1847 г. лейтенантом Жеребцовым в заливе Кара-Богаз-Гол. Он представляет десятиводный сульфат натрия $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ и до сих пор используется в медицине и ветеринарии как сильное слабительное. В сухом климате он легко обезвоживается и превращается в порошкообразный безводный сульфат натрия — тенардит Na_2SO_4. Мирабилит образует пласты в современных соляных озерах. Во многих рапных озерах он является сезонным минералом, выпадая из рапы в холодное время зимой и растворяясь весной и летом. Зимние выбросы мирабилита по берегам залива Кара-Богаз-Гол после его естественного обезвоживания длительное время служили объектом эксплуатации — обезвоженный «нагар» собирали и выпускали в виде товарного

сульфата натрия. Позже здесь стали применять бассейновый метод, закачивая летнюю поверхностную рапу залива в озеро № 6, а после зимней садки мирабилита, сбрасывая обессульфаченный маточник в озеро № 5. Пласт мирабилита в озере № 6 летом обезвоживался естественным путем, а образующийся «нагар» сгребали сначала ручным способом, а затем машинами. Бассейновый способ получения сульфата натрия применялся также на Туралинских и Баталпашинских озерах. С 1954 г. комбинат Карабогазсульфат перешел на использование погребенных межкристальных рассолов, а в последнее десятилетие получение из рассолов мирабилита и его обезвоживание осуществляется также заводским путем. Естественная зимняя садка из рапы мирабилита и последующее его обезвоживание до товарного сульфата натрия производится и на оз. Кучук.

До 1960 г. добыча нагара (обезвоженного мирабилита) производилась также на «сухих» мирабилитовых озерах Джаксы-Клычского месторождения в Северо-Восточном Приаралье, в которых залегал пласт мирабилита мощностью до 1—2 м. Здесь же из тенардитовых озер добывали и кристаллический тенардит, залегавший в них в виде пластов мощностью 0,2—0,6 м. Пласт тенардита большей частью был покрыт гипсо-мирабилитовой коркой или слоем галита, а подстилался пластом мирабилита, иногда — слоем астраханита. Некоторое время кристаллический тенардит добывали также из соляных озер Кулундинской и Соляноозерской степей в Алтайском крае.

В то же время, если поваренная соль добывается в почти равной мере из отложений древних соленосных бассейнов и современных соляных озер, то для получения сульфата натрия сейчас используется только рапа или рассолы современных соленосных бассейнов и озер. Месторождения ископаемого сульфата натрия, главным образом третичного возраста, представленного линзами или пластами тенардита, мирабилита, астраханита $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ и глауберита $Na2SO_4 \cdot CaSO_4$ пока не разрабатываются.

Для промышленных целей основное значение имеет безводная соль сульфата натрия — тенардит, порошкообразный или кристаллический. Требования к товарному сульфату натрия, полученному из мирабилита, регламентируются ГОСТом 6318—68 (табл. 2).

Тенардит, добываемый из донных отложений соляных озер, должен иметь влажность не более 15% и содержать (на сухое вещество) не менее 92% Na_2SO_4, и не более 5% NaCl; 0,5% $CaSO_4$; 2,5% нерастворимых в воде веществ и 0,03% Fe_2O_3.

В соответствии с различными областями использования сульфата натрия требования к его качеству могут варьировать в широких пределах, что видно из сопоставления предельных содержаний для высшего, первого и второго сортов. Неодинаковы требования к нему, предъявляемые основными потреби-

Таблица 2

Показатель	Содержание, % на сухое вещество		
	Высший сорт	I сорт	II сорт
Сульфат натрия (не менее)	99,3	97,5	94,0
Нерастворимый в воде остаток (не более)	0,5	1,5	4,5
Хлориды в пересчете на NaCl (не более)	0,2	1,0	2,0
Сульфат кальция (не более)	0,05	0,5	1,0
Железо (Fe_2O_3) (не более)	0,01	0,01	0,03
Влага (не более)	0,5	3,0	7,0

телями — химической, стекольной, целлюлозно-бумажной промышленностями и производством моющих средств. При этом одним из основных требований, например, стекольной промышленности, является высокая однородность состава товарного сульфата натрия, с колебаниями содержания основного компонента и примесей, не превышающими 1,0 и. 0,5%. В соответствии с этим нежелательна высокая или неравномерная примесь магниевых солей, главным образом в виде астраханита. В то же время не является вредным увеличение содержания $CaSO_4$ до 3—4%, а NaCl до 3%, при выдержанности состава крупных партий. Из-за больших колебаний соотношения содержаний магния и натрия в астраханите пришлось отказаться от прямого использования его для варки стекла.

На глауберову соль (мирабилит), выделяемую из природных рассолов и применяющуюся в ветеринарии, разработаны технические условия ТУ-338-41, согласно которым соль должна содержать (в % на сухое вещество): Na_2SO_4 не менее 96, нерастворимого в воде остатка — не более 0,6, NaCl — не более 0,5.

ГОСТ 6319—69 на глауберову соль медицинскую определяет требования к мирабилиту, используемому медицинской промышленностью. Природный мирабилит для этой цели обычно растворяется и повторно кристаллизуется из раствора.

В связи с отсутствием технических условий на сырье для получения сульфата натрия для каждого месторождения составляются и обосновываются технико-экономическими расчетами кондиции, в которых учитываются вид и конкретные особенности сырья месторождения. Так как в настоящее время основная часть сульфата натрия из природного сырья получается путем добычи рассолов из II пласта солей и рассолов в Куртузульской бухте залива Кара-Богаз-Гол и рапы оз. Кучук, с последующей садкой из них мирабилита и его обезвоживания в заводских или природных условиях, то основные требова-

ния предъявляются к составу рассолов или рапы, к возможно более высокому выходу из них мирабилита при охлаждении их до +5 и 0°С. Так как повышенное содержание в рассолах ионов хлора и особенно магния вызывает снижение выхода, т. е. количества выпадающего в осадок мирабилита, при охлаждении рассолов, которое при достаточно высоком содержании сульфат-иона может быть увеличено в результате их разбавления слабоминерализованной, например морской, водой, в ряде случаев кондициями целесообразно учитывать химический состав и минерализацию рассолов. Это особенно важно при комплексном их использовании. По-видимому, в дальнейшем необходимо также лимитировать кондициями химический и минеральный состав твердых солей, в которых заключены рассолы, или солей, которые залегают под поверхностной рапой: откачка рассолов и рапы нарушает сложившееся равновесие между твердой и жидкой фазами и вызывает переход солей в раствор, нередко приводя к изменению его состава, а следовательно, и выхода мирабилита. В разное время в заливе Кара-Богаз-Гол кондициями устанавливались минимальные выходы мирабилита из рассолов в 105 и 140 кг/м^3. Фактические выходы колеблются от 65 до 260 кг/м^3.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ И СУЛЬФАТА НАТРИЯ

Детальная генетическая классификация соленосных отложений, формаций и месторождений минеральных солей разработана А. А. Ивановым [26]. Все месторождения минеральных солей по времени своего образования делятся на две основные группы: современные, формирование которых продолжается в настоящее время, и ископаемые, образовавшиеся в прошлые геологические периоды (ранний кембрий — неоген), как правило, находящиеся в недрах земли и сравнительно редко обнажающиеся на ее поверхности.

Основное различие между ними заключается в том, что первые, как правило, представлены рассолами различной концентрации, вплоть до их насыщения и выпадения солей, солевыми осадками, находящимися в стадиях седиментации и раннего диагенеза, с пористостью, достигающей 20—30%, и порами, заполненными рассолом, свободно циркулирующим в них. Эти месторождения находятся в процессе формирования, в ходе которого за сравнительно короткое время возможно увеличение или уменьшение мощности солевых отложений, существенное изменение состава выпадающих и ранее выпавших солей, их дифференциация и превращение метастабильных минералов в стабильные.

Вторые представлены обычно галогенными горными породами, образовавшимися из пористых и рыхлых осадков в результате достаточно длительного процесса их диагенеза и литификации; уменьшения пористости до десятых долей процента и превращения отложений из свободно проницаемых для рапы и воды в практически водоупорную породу, замены большей части или всех метастабильных минералов более стабильными. Все эти признаки характерны для месторождений ископаемых солей вплоть до неогенового, а иногда и до древнечетвертичного возраста.

О длительности процессов превращения осадка в породу свидетельствует состояние галогенных отложений в нижних пластах солей залива Кара-Богаз-Гол, оз. Индер, оз. Баскунчак, которые, имея возраст 12—18 тыс. лет и мощность покрывающих их солевых отложений 30—40 м, сравнительно мало отличаются от более молодых галогенных отложений и очень далеки по своим признакам от ископаемых галогенных пород. Поэтому часто предполагали, что закономерности и условия галогенеза в настоящем и прошлом различны и, следовательно, применение закономерностей, выявленных в современном галогенезе, к галогенезу прошлого неправомерно. И напротив, древние галогенные породы сопоставлялись с современными осадками, без учета сложных процессов дифференциации солей и диагенеза, которые претерпели древние отложения. Эта область исследований галогенеза начала развиваться сравнительно недавно. Поэтому при поисках и разведке месторождений солей ей необходимо уделять значительно больше внимания, чем это делалось ранее.

Месторождения поваренной соли и сульфата натрия встречаются как в древних, так и в современных галогенных отложениях. При этом месторождения поваренной (каменной) соли широко распространены во всех периодах соленакопления и обычно преобладают над другими легкорастворимыми солями, а месторождения сульфата натрия, обнаруженные к настоящему времени, встречаются гораздо реже. Большая часть их приурочена к современным соленосным отложениям, меньшая — к неогену и палеогену. Более древних самостоятельных месторождений сульфата натрия пока не обнаружено.

По условиям питания солеродных бассейнов выделяются подгруппы формаций и месторождений морского и континентального генезиса.

Выделяются галогенные формации и месторождения ископаемых солей морского генезиса, образовавшиеся: 1) в лагунах на наклонной к морю площадке; 2) в крупных морских заливах, сообщавшихся с морем через пролив; 3) в крупных открытых заливах краевых участков морей, в эпиконтинентальных морях; 4) во внутриконтинентальных бассейнах морского типа.

При сравнительном постоянстве состава и общей минерализации вод Мирового океана (на протяжении от раннего кембрия до настоящего времени), являющегося основным источником питания всех перечисленных типов морских солеродных бассейнов, различия в физико-географической и тектонической обстановке каждого конкретного бассейна обусловили большое разнообразие сформировавшихся в них месторождений солей и нередко не дают возможности уверенно отнести их к одному определенному типу. Не исключено, что в процессе развития бассейны переходили из одного типа в другой. Ориентировочно эти типы различаются масштабами соленакопления, площадями и мощностью отложений солей, их составом. В общем виде в бассейнах лагунного типа площадь солевой залежи редко превышает десятки и сотни квадратных километров, а мощность—нескольких метров. Отложения солей представлены главным образом галитом и гипсом или ангидритом. В крупных морских заливах, питающихся морской водой через пролив или промежуточные бассейны, мощность солевых отложений нередко достигает нескольких десятков метров, а площадь — нескольких тысяч квадратных километров. Кроме пластов галита, гипса или ангидрита, иногда глауберита, карбонатов и терригенного материала в них может присутствовать эпсомит, гексагидрит, изредка астраханит, вкрапленность или даже прослои калийных солей, хлоридных, реже — сульфатных, редко встречается бишофит. В открытых заливах и эпиконтинентальных морях площадь солевых отложений может составлять десятки и сотни тысяч квадратных километров, а мощность — несколько сотен метров; отложения представлены чередующимися пластами галита, ангидрита, карбонатов, терригенного материала. Другие легкорастворимые минералы встречаются сравнительно редко, большей частью в виде вкрапленников.

Во внутриконтинентальных бассейнах морского типа площади, мощности и состав солей наиболее разнообразны и могут существенно изменяться в различных частях этих бассейнов, нередко имеющих сложные очертания.

Современные бассейны морского генезиса, в которых происходит накопление солей, менее разнообразны. Среди них преобладают лагунный тип и тип морских заливов, питающихся через пролив. К первому типу относятся многочисленные лагуны и лиманы по берегам Черного и Каспийского морей, ко второму — две группы формаций, или два подтипа по условиям питания и конфигурации залива, близких к современным [41]: Кара-Богаз-Гол, имеющий округлые очертания, и Бокано-де-Верилла в Южной Америке, узкий, вытянутый. Отнесение некоторых из бассейнов к типу морских внутриконтинентальных бассейнов представляется спорным; в равной мере они могут быть отнесены и к континентальным образованиям.

Галогенные формации и месторождения ископаемых солей континентального генезиса встречаются редко, большей частью имеют небольшие размеры и меньшую мощность легкорастворимых солей по сравнению с сопутствующими им гипсоносными и терригенными отложениями, но в отдельных случаях достигающую нескольких десятков метров. Кроме пластов галита, нередко сильнозагрязненных терригенным материалом, галопелитами и гипсом, в разрезе этих месторождений встречаются пласты глауберита, иногда тенардита, гипса и других сульфатных солей. Мирабилит часто совместно с гипсом и карбонатами кальция и магния на выходах этих пород на поверхность образует своеобразную мирабилитовую или гипсово-мирабилитовую кору выветривания по глаубериту и тенардиту. В СССР месторождения солей континентального происхождения с различными соотношениями в них галита, глауберита и тенардита имеют палеоген-неогеновый возраст и располагаются в межгорных впадинах Тянь-Шаня. Нередко они сильно нарушены и смяты в складки различного простирания с падением крыльев от 10 до 90° так, что пласты солей «стоят на головах» (Камыш-Курганское месторождение) или имеют пологое падение (Чуль-Адырское месторождение). Континентальное происхождение, относительно которого, однако, высказываются сомнения, имеют нижнепермские соленосные отложения, обнаруженные в Джезказганской впадине и в Чу-Сарысуйской депрессии. Легкорастворимые соли в них представлены в основном галитом, в сравнительно небольшом количестве встречен глауберит и еще меньше, главным образом минералогически, тенардит. В соленосной толще содержится много терригенного материала, главным образом галопелитов, ангидрита и гипса. В Джезказганской впадине встречается также родусит и родусит-асбест. Интересно, что он дает отчетливые псевдоморфозы по кристаллам глауберита и реже — по кристаллам галита. Мощность соленосной толщи в этих месторождениях превышает 100 м. Можно полагать, что дальнейшее изучение позволит ответить на многие пока неясные вопросы древнего континентального соленакопления.

Ископаемые месторождения содовых минералов, представленных троной $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$, термонатрием $Na_2CO_3 x$ xH_2O, а также большой группой двойных солей — шортитом, пирсонитом, гейлюсситом, а также нахколитом, нортупитом и тишитом,— встречаются очень редко. Пока единственное месторождение их, выявленное в 1939—1940 гг., изученное и уже освоенное промышленностью, обнаружено в шт. Вайоминг (США). Оно приурочено к формации Уилкинс Пик, являющейся частью формации Грип-Ривер ранне- и среднеэоценового возраста, образовавшейся на месте очень крупного и когда-то проточного оз. Госьют и относимой к континентальным образованиям. Запасы троны этого месторождения громадны и дости-

гают 100 млрд. т. Общая мощность соленосного комплекса Уилкинс Пик достигает 250—300 м, площадь распространения соленосных пород 3600 км^2. В нем насчитывается более 40 линз содовых солей мощностью от десятков сантиметров до 12 м; 25 из них имеют мощность более 1 м. Вероятно, в дальнейшем будут обнаружены и другие аналогичные месторождения. При проведении дальнейших исследований необходимо учитывать, что в течение многих лет ископаемые залежи содовых минералов считали крайне маловероятными и поэтому изучение разреза соленосных отложений проводили без определения содержаний CO_3^{2-} и HCO_3^-, а содержание иона Na^+ принимали по разности катионов, т. е. наличие или отсутствие содовых минералов не фиксировали.

Сравнительно близким аналогом ископаемого месторождения соды может служить современное соляное оз. Сирлс (Калифорния), в солевых отложениях которого содержатся аналогичные содовые минералы.

Современные озерные месторождения солей континентального генезиса гораздо разнообразнее древних месторождений того же происхождения и существенно отличаются от них вследствие незавершенности процесса их формирования, нахождения их на разных его стадиях, а также из-за разрушения и исчезновения большей части озерных месторождений до перехода в ископаемое состояние.

Процесс соленакопления проявляется прежде всего в увеличении минерализации вод. Поэтому одним из первых признаков для классификации его интенсивности стала концентрация в воде растворимых солей, или общая их минерализация. В. И. Вернадский [8] подразделял воды на пресные, слабоминерализованные, или солоноватые, минерализованные, или соленые, и рассолы, содержащие соответственно 0,001—0,1; 0,1—1,0; 1—5 и 5—40% солей. Им было выделено 485 видов природных вод с разным содержанием природных солей. Наиболее заметно ход и характер соленакопления проявляются в изменении содержаний небольшой группы катионов (K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) и анионов (CO_3^{2-}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-). Поэтому почти все классификации природных вод по химическому составу основываются на выделении типов, классов и групп, различающихся по соотношению этих катионов и анионов. К ним относятся классификации Н. И. Толстихина [43], С. А. Щукарева [46], В. А. Александрова [2], В. А. Сулина [42], О. А. Алекина [1] и др.

Положение с классификацией соляных озер сложнее, так как воды различного состава и происхождения в озерах увеличивают концентрацию своих солей, превращаются в рассолы, соли из них переходят в твердую фазу, активно взаимодействующую с жидкой фазой озера.

Начало обоснованной гидрохимической классификации соляных озер, увязывающей химический состав рапы с направлением развития соляных озер, было положено Н. С. Курнаковым [34], подразделившим соляные озера по составу рапы на два основных класса: сульфатный и хлоридный, из которых первый в результате потери рассолом сульфат-иона, выпадающего в виде гипса, постепенно изменяется и переходит во второй. Этот процесс Н. С. Курнаков назвал процессом метаморфизации рассолов.

Дальнейшее развитие, разработку и совершенствование гидрохимической классификации соляных озер осуществлял М. Г. Валяшко [5, 6]. Он выделил три типа рассолов соляных озер: карбонатный, сульфатный и хлоридный; в сульфатном типе выделены сульфатно-натриевый и хлоридно-магниевый (сульфатно-магниевый) подтипы. Им же было предложено различать воды пресные — с минерализацией до 0,1%, солоноватые — от 0,1 до 3,5%, соляные — 3,5% и выше. Для соляных озер предложены следующие классификационные признаки [5]: 1) концентрация озерного рассола (рассол и соответственно озера пресные, солоноватые и соляные); 2) состав озерного рассола; 3) состояние озерного рассола; 4) наличие твердых отложений солей и их состав.

По составу озерного рассола соляные озера делятся на три типа: карбонатный, сульфатный и хлоридный.

Карбонатный тип характеризуется следующим солевым составом рассола: Na_2CO_3, $NaHCO_3$, Na_2SO_4, $NaCl$, $MgCO_3$, $CaCO_3$.

Сульфатный тип подразделяется на два подтипа: сульфатно-натриевый с составом Na_2SO_4, $NaCl$, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$ и хлор-магниевый с составом $NaCl$, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$.

Хлоридный тип характеризуется составом $NaCl$, $MgCl_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$.

По состоянию озерного рассола различаются рапные, сухие и подпесочные озера. Последние не имеют поверхностной рапы в течение всего года и часто несут следы карстования.

По наличию и составу твердых отложений солей различают: 1) иловое озеро — без донных отложений солей; 2) самосадочное озеро, имеющее только новосадку; 3) садочное озеро, имеющее старосадку; 4) корневое озеро, имеющее отложения старосадки и корневых солей. Они могут быть рапными и «сухими» озерами. А. И. Дзенс-Литовский [22] дополнил классификацию выделением котловин-ложбин континентального, морского и континентально-морского происхождения. Но такое разделение провести очень трудно, особенно в прибрежных районах моря.

Эта классификация позволяет прослеживать закономерные изменения в жидкой фазе соляных озер до образования твер-

дой фазы, классифицировать выделившиеся из рапы твердые соли, их состояние и состав. Она, однако, недостаточна для выделения в типах более дробных подразделений, например групп соляных озер, близких или отличающихся по составу и строению твердых отложений, находящихся на разных стадиях развития, имеющих различные условия питания и режим, учитывающих происходящие в озере ранне- и позднедиагенетические изменения, скорость и направление развития, последнее особенна важно для определения режима и состава твердой и жидкой фаз озера на период эксплуатации в 20—30 лет при его разведке и промышленной оценке.

Среди соляных озер, представляющих промышленный интерес, для разработки методики их изучения и условий эксплуатации целесообразно выделить три группы озер, в которых: 1) соли заключены только в жидкой фазе; 2) под слоем поверхностной рапы имеются отложения солей, пропитанные межкристальной рапой, и 3) основная масса солей находится в твердой фазе, а также в межкристальной рапе, пропитывающей пласт солей. Разумеется, деление это условное, так как озера со временем переходят из одной группы в другую, от рапных к «сухим». Однако в краевых частях засушливой зоны они могут совершать этот переход длительное время и оставаться в одной из групп десятилетиями.

Что касается современных соляных озер хлоридного типа, с отложениями солей на дне, или «сухих», то в настоящее время состав твердых отложений их довольно однообразен — это, как правило, пласт галита с большей или меньшей примесью гипса, карбонатов кальция и магния, терригенного материала, иногда большой мощности. На более поздних стадиях развития в хлоридных озерах возможна садка бишофита и даже тахгидрита, но пока она не обнаружена, хотя тахгидрит и встречается иногда в пласте галита, по-видимому заполняя поры между его кристаллами. Хлоридных озер очень мало, и они по составу рапы как правило, близки к сульфатному типу. Еще реже встречаются соляные озера карбонатного типа (содовые), более дробное деление которых пока не практикуется.

Среди современных соляных озер наиболее распространены и разнообразны озера сульфатного типа. При этом выделенные М. Г. Валяшко два подтипа — хлор-магниевый и сульфатно-натриевый— удобны для классификации главным образом поверхностной рапы озер. На «сухих» озерах, в которых летом поверхностная рапа отсутствует, при значительной мощности пластов солей основную роль играет межкристальная и иловая рапа, заключенная в донных отложениях, а она нередко в годовом цикле резко меняет свой состав и переходит из одного подтипа в другой. На основе особенностей режима и условий питания «сухих» соляных озер водой и солями, с учетом минерального состава солевых отложений и свойств межкристаль-

ной рапы, Л. М. Гроховским [11—13, 16] были выделены три основные группы «сухих» соляных озер — галитовые, мирабилитовые и занимающие промежуточное положение между ними тенардитовые озера. Позже были выявлены более дробные подразделения этих групп и признаки переходов озер из одной группы в другую. Была установлена также родственная связь между группами, выражающаяся в том, что принадлежность к той или иной группе для большей части озер определялась стадией развития соляного озера после перехода его в «сухое» озеро как путем дальнейшего накопления солей, их раннедиагенетических превращений и дифференциации, так и путем деградации и избирательного выноса из озера тех или иных солей, вплоть до полного разрушения солевых отложений или изменения направления развития с регрессивного на прогрессивное. Эти изменения, как правило, связаны с изменением режима источников питания, их роли в режиме озера. С подобными изменениями обычно связан и переход рапных озер в стадию «сухих», а затем и в стадию «подпесочных».

Галитовые озера заключают пласт галита мощностью от долей метра до десятков метров, как в озерах Индер, Баскунчак, Эльтон, который в одних случаях подстилается слоем ила, а в других — под ним залегает пласт сульфатных солей, подстилаемый слоем ила. В озерах хлоридного типа пласт галита нередко содержит значительную примесь гипса и нерастворимых веществ, представленных в основном карбонатами магния и кальция. В озерах сульфатного типа пласт галита может содержать кроме гипса также и значительную примесь, особенно в нижних его слоях, эпсомита, астраханита, иногда мирабилита; в озерах, где сульфатный пласт уже обособился и в нем в результате дифференциации выделились пласты мирабилита или эпсомита, а между ними и пластом галита образовался пласт астраханита, пласт галита обычно представлен старосадкой и гранаткой или каратузом с незначительным содержанием легкорастворимых солей и небольшим — гипса. Мощность пласта астраханита очень редко превышает 2,0 м, мирабилита — изменяется от долей метра до 4 м, эпсомита — до 1,0 м. Уровень рапы летом на «сухих» галитовых озерах обычно опускается ниже поверхности пласта всего на 3—5 см, а зимой поднимается на 0,3—0,5 м выше нее. Питание озера водой и солями осуществляется через соровую полосу и «окна» в солевой залежи грунтовыми водами с местным напором. В озере может продолжаться накопление солей или происходит вынос части их в горизонт грунтовых вод. Озеро может быть конечным или проточным для грунтовых вод.

Мирабилитовые озера заключают обычно только пласт мирабилита, а под ним — слой ила. Мирабилит нередко сильно загрязнен гипсом. На его поверхности образуется слой (до 12 см) «нагара» — обезвоженного мирабилита, который раз-

веивается ветром, а на его месте образуется новый слой «нагара». Иногда на поверхности пласта залегает мощная, до 40 см, бугристая гипсово-мирабилитовая корка, образовавшаяся в результате разрушения, растворения и выноса вышележащих пластов галита, астраханита, тенардита и глауберита, при понижении в районе озера уровня грунтовых вод и соответственно — уровня рапы в озере. Как правило, мирабилитовые озера являются проточными для грунтовых вод. При повышении уровня последних уровень воды в озере, летом и зимой колебавшийся от 20 до 80 см ниже поверхности залежи, также может подниматься до поверхности залежи, а весной и выше ее — в озере может начаться образование тенардита, затем астраханита, а иногда и галита.

Тенардитово-мирабилитовые озера, занимающие промежуточное положение между галитовыми и мирабилитовыми, могут носить признаки первых или вторых, в зависимости от того, насколько далеко они прошли путь регрессивного развития к мирабилитовому озеру. Одни из них еще имеют пласт галита, мощностью до 1 м, под которым залегает невыдержанный прослой кашеобразного глауберита (до 15 см) и пласт тенардита мощностью 0,2—0,6 м. Под тенардитом иногда еще залегает слой или линзы астраханита, а под ними большей частью залегают пласт мирабилита и слой ила. В других озерах пласт галита полностью вынесен или от него осталась тонкая корочка, под которой залегает слой глауберита с карбонатным илом, а ниже — пласт тенардита и мирабилита. Уровень рапы на первых озерах в годичном цикле изменяется, почти как на галитовых озерах, на вторых — летом уровень рапы понижается на 15—20 см ниже поверхности пласта тенардита, а весной поднимается выше ее. На третьих тенардитовых озерах слой глауберита уже разложился и на его месте образовалась гипсово-мирабилитовая корка, иногда слой «нагара», ниже которого залегает пласт тенардита, местами уже несущий следы разрушения, под ним — пласт мирабилита. Уровень рапы в этих озерах, как и в мирабилитовых, опускается летом на 50—80 см, а весной не поднимается выше подошвы пласта тенардита.

Приведенные выше группы отражают общий путь развития «сухих» соляных озер в прямом и обратном направлениях. Но этот путь может быть и более сложным, с неоднократными сменами периодов накопления солей периодами их частичного, чаще избирательного, выноса, сопровождающегося дифференциацией солей и преобразованием первичных минералов (мирабилита, эпсомита, галита) во вторичные (астраханит, глауберит, тенардит), вследствие чего в некоторых озерах обнаруживается по два пласта галита или астраханита, а над тенардитом может залегать пласт галита мощностью до 2 м. Рапные озера переходят в «сухие» чаще всего на стадии выпадения и

формирования пласта галита, но в некоторых случаях этот переход возможен и на стадии садки мирабилита.

Из сказанного следует, что галитовые озера представляют наибольший интерес как сырьевая база для получения поваренной соли, некоторые из озер — сульфата натрия, а иногда и магнезиальных солей как из твердых отложений, так и из межкристальной рапы, если озеро достаточно велико для обеспечения рапой современного предприятия; тенардитовые и мирабилитовые озера могут быть источником сульфата натрия и иногда сульфата и хлорида магния.

Ознакомление с современными рапными и «сухими» соляными озерами показывает, что соотношение в рапе и в твердых отложениях хлоридов и сульфатов натрия и магния кроме физико-химических закономерностей развития озер в большой степени зависит от водообильности, состава солей и общей минерализации источников, питающих озеро, от положения озера по отношению к зеркалу грунтовых вод (конечное или проточное) и от изменения этого положения во времени.

В настоящее время существенно меняются представления о соотношении различных источников питания солеродных бассейнов и их роли в накоплении в них солей и преобразовании их на разных стадиях развития этих бассейнов. Это касается соотношения континентальных вод и солей с морскими в питании морских бассейнов, а также соотношения поверхностных вод с подземными в питании морских и континентальных солеродных бассейнов. Так, например, исследованиями последних лет установлено, что в Каспийское море поступает не менее 25—30 км^3 подземных вод, что составляет более 10% общего речного стока в море, а минерализация этих вод в 10—30 раз выше, чем речных, что указывает на необходимость переоценки водно-солевого баланса Каспия. То же относится к Аральскому и другим морям и бассейнам, особенно к солеродным, находящимся на стадии накопления в них твердых солей и тем более на стадии перехода в «сухое» озеро, когда, как правило, приток поверхностных, морских или континентальных, чаще всего речных, вод резко сокращается, а подземных (грунтовых и напорных) сохраняется или увеличивается из-за снижения уровня рапы в солеродном бассейне и составляет 40—60% общего притока вод. Более важную роль грунтовых вод в питании соляных озер солями подтвердило и изучение испарения грунтовых вод при глубине залегания их 2—3 м от поверхности земли, которое на этих глубинах составляет 100—200 мм за сезон, а близ поверхности земли оказалось близким к испарению с поверхности воды или рапы, т. е. в озеро поступают воды более минерализованные, чем в водоносном горизонте. Существенную поправку в водно-солевой баланс «сухого» озера вносит и уточнение величины испарения с поверхности пласта галита, которое в засушливых районах оказалось близким к:

400—500 мм, т. е. во много раз большим, чем считалось ранее.

Без достаточных оснований роль континентальных поверхностных вод в питании морских солеродных бассейнов сводилась только к разбавлению ими рапы, привносу терригенного материала, метаморфизующему влиянию на рассол бикарбоната и сульфата кальция, а привнос солей считался ничтожным, и не учитывался, как и привнос солей подземными водами, минерализация которых в засушливых районах нередко достигает 40—60 г/л, а иногда 100—150 г/л. Фактически эта роль оказалась более значительной и неодинаковой для разных подгрупп. При равных условиях она наименьшая в эпиконтинентальных морях и открытых заливах, где граница с сушей сравнительно невелика и воздействие вод суши ограничивается прибрежными частями акватории. Эта роль поверхностных и подземных вод суши резко возрастает в морских заливах, сообщающихся с морем через пролив, где суша почти полностью окружает акваторию, и в еще большей степени — во внутриконтинентальных морях, в которых на разных стадиях она может даже преобладать над водами моря. Разумеется, роль континентальных вод в питании солеродных бассейнов в сильнейшей степени зависит от засушливости приморских равнинных территорий, наличия местной или транзитной речной сети, а также континентальных соляных озер в бассейне морского водоема в период накопления в нем солей и формирования месторождения.

Наблюдения за современными континентальными и приморскими соляными озерами, которые также в значительной степени питаются водами суши, показывают, что за редкими исключениями, связанными в основном с образованием компенсационных впадин солянокупольных структур (озера Индер, Баскунчак, Эльтон и др.), накопление солей в них происходит в котловинах, образованных деятельностью речных вод и ветра (котловины выдувания), суффозией, карстовыми процессами, и не сопровождается тектоническими движениями, вызывающими прогибание поверхности. Поэтому пределом накопления в них солей является уровень грунтовых вод. При достижении этого уровня котловины становятся проточными, накопление солей компенсируется их выносом (часто избирательным) в горизонт грунтовых вод или по протокам в соседние понижения, интенсивно протекает процесс дифференциации солей. Понижение уровня грунтовых вод в районе озера вызывает усиление выноса солей, нередко полную потерю их и превращение озера в солончак. Вследствие этого большая часть континентальных соляных озер существует геологически короткое время, но значение их в процессе соленакопления велико, так как они в качестве временного хранилища солей на пути к конечным бассейнам — океану или к морскому солеродному бассейну — регулируют солевой состав вод, питающих эти бассейны, задержи-

вая одни слои и сбрасывая другие. Можно полагать, что отсутствие заметных следов континентального галогенеза в большей части древних периодов соленакопления свидетельствует о том, что соли из соляных озер перемещались в нижерасположенные и более крупные солеродные бассейны, а сами озера исчезали, как это происходит и сейчас. Следовательно, континентальный галогенез в прежние эпохи был также широко развит, поэтому возможно более полное использование данных о современном соленакоплении для анализа галогенеза прежних эпох.

Переход «сухих» соляных озер в стадию «подпесочных» для большей части озер, котловины которых не испытывают прогибания, сопровождается понижением уровня грунтовых вод в районе озера, карстованием соляных отложений, их выносом в горизонт грунтовых вод и прекращением существования озера. Меньшая часть «сухих» озер с большой мощностью солевых отложений, образовавшихся из-за значительной глубины озерной котловины или в результате ее прогибания, может сохраняться длительное время, если отложения солей в них будут перекрыты труднорастворимыми солями — гипсом, карбонатами кальция и магния, галопелитами, глинистыми терригенными отложениями, и перейти в погребенную залежь ископаемых солей, как это произошло, например, с месторождением Кушканатау в дельте Амударьи.

Необходимо отметить, что практически все месторождения ископаемых солей также постепенно растворяются и разрушаются, однако процесс этот обычно протекает крайне медленно, главным образом в краевых частях и в кровле толщи солей, что связано с перекристаллизацией и уплотнением осадков солей при переходе их в горную породу и превращением в водоупор, непроницаемый для воды, рассолов, нефти и газа. Следы такого растворения краевых и выступающих частей залежи соли встречаются на месторождениях солей как молодого, так и очень древнего возраста. Этим в основном объясняется сохранение в течение геологически длительного времени только крупных месторождений с большой мощностью соли. Но крайне медленное течение процесса разрушения соленосной толщи происходит обычно в тектонически спокойной обстановке, при погружении солей на большие глубины.

Медленному растворению солей на больших глубинах способствуют уплотнение пород в кровле соли, низкая их пористость, образование защитной зоны в покрывающих толщу соли отложениях из насыщенных солью рассолов, ничтожные скорости перемещения подземных вод и часто высокая минерализация этих вод.

Процесс разрушения месторождений соли может сильно ускориться при активизации тектонической деятельности, особенно движений, вызывающих образование внутрисоляных микро- и макроскладок разного порядка с амплитудой от санти-

метров до сотен метров и складчатых структур, охватывающих всю соленосную толщу с вмещающими ее породами, особенно с образованием антиклинальных структур. Последние благодаря способности соли к пластическим перемещениям на больших глубинах и под большим давлением (течение соли) обычно приводят к осложнению этих антиклиналей диапировыми солянокупольными структурами. При этом нередко в контакт с толщей соли приходят породы разного возраста, с разной степенью водопроводимости и обводненности. Нередко такие структуры поднимаются с глубины 10 км до 100 м от поверхности земли (например, Челкарская, Эльтонская, Озинская, Индерская), или достигают поверхности земли (например, Соль-Илецкий, Баскунчакский и др. соляные купола), или образуют целые соляные горы (гора Ходжа-Мумын), достигающие 800 м высоты и 10 км в диаметре.

В антиклинальных структурах, флексурных перегибах и других неровностях, возвышающихся над протягивающейся на большие расстояния соленосной толщей, подземными водами растворяются в основном выступающие части, образуя соляное зеркало, в идеале приближающееся к горизонтальной или слабонаклонной плоскости, в пределах которой наиболее эффективно действуют те же защитные факторы (малая скорость подземных вод и образование насыщенных рассолов, затрудняющих доступ подземных вод к соли), что и в тектонически ненарушенных залежах солей, резко снижающие скорость растворения соленосной толщи при достижении равновесия. Сравнительно быстро «залечиваются» и разрывные нарушения в толщах солей, если они не вскрывают разные водоносные горизонты (например, над- и подсолевой) с подземными водами, отличающимися величиной напора, составом растворенных солей и их минерализацией.

Процесс растворения солей и карстования соленосной толщи резко усиливается в диапировых солянокупольных структурах на участках, соприкасающихся с маломинерализованными водами водоносных горизонтов, имеющих сравнительно большие скорости потока подземных вод, как бы обтекающего эти структуры. Это чаще всего происходит близ поверхности земли, где скорость подъема купола нередко не превышает скорости растворения его соли, а соляное зеркало даже опускается и на его месте остаются новообразования кепрока, гипсовой или глинистой шляпы, мощность которых зависит от содержания в соленосной толще гипса, карбонатов, терригенных примесей. По краям купола нередко образуются глубокие карманы и карнизы, свидетельствующие о неравномерном растворении солей водами разных водоносных горизонтов. Это явление характерно для Соль-Илецкого, Солотвинского и других куполов. Заметно выделяются зоны интенсивного карстования краевых частей Надбрянцевского, Брянцевского и Подбрянцевского пластов

каменной соли Артемовского месторождения. Благоприятные условия для карстования соли нередко возникают при проходке в массиве соли горных выработок, если в них теми или иными путями просачиваются поверхностные или подземные воды, не насыщенные солями.

При выделении промышленных типов и определении промышленного значения месторождений, как и при выделении генетических типов, целесообразно рассматривать две группы ископаемых месторождений солей раздельно: 1) современные озерные и 2) древние, имеющие существенные отличия в методах поисков, разведки, промышленной оценки и эксплуатации. Для первых следует установить их стабильность на период эксплуатации, а также определить условия и скорость формирования, направление развития, оптимальные масштабы и способы эксплуатации. Для вторых — определить условия, при которых их изучение и освоение не приведет к катастрофическому карстованию и разрушению месторождения; выявить участки, наиболее опасные в этом отношении.

Современные или озерные месторождения солей по их промышленному значению, методам изучения, промышленной оценке и эксплуатации можно разделить на три труппы, соответствующие выделенным М. Г. Валяшко [6] стадиям развития соляного бассейна: рапного (подготовительного), самосадочного бассейна и «сухого» соляного озера. Среди них выделяются: рапные озера, содержащие соли главным образом в поверхностной рапе; рапные озера, содержащие соли в донных отложениях, в поверхностной и межкристальной рапе; «сухие» озера, содержащие соли главным образом в донных отложениях, а также в межкристальной рапе.

Рапные озера, содержащие соли в рапе и не имеющие стабильных отложений солей, могут представлять промышленный интерес только при больших размерах, достигающих многих десятков квадратных километров, при сравнительно небольшой амплитуде колебаний средней глубины рапы, состава и концентрации растворенных в ней солей в многолетнем периоде и при наличии стабильных источников питания озера, обеспечивающих его существование на длительный срок. Выпадающая в таких озерах новосадка мирабилита (зимой) или галита (осенью) обычно растворяется в следующем сезоне, реже существует несколько лет, до очередного периода увлажнения климата. В связи с нестабильным состоянием не имеет промышленного значения даже такое крупное озеро как оз. Бол. Аж-Булат в Павлодарской области, заключающее более 25 млн. т сульфата натрия и около 5 млн. т хлористого натрия. На протяжении последних сорока лет это озеро то было рапным, то пересыхало, и на обсохшем илистом и вязком дне его отлагался слой мирабилита, над ним слой галита, а между ними образовывался невыдержанный слой тенардита малой мощности.

Добыча этих солей была технически сложна и экономически нерентабельна. Примерно то же относится и к соляному оз. Эбейты, на котором то выпадают из рапы, то растворяются в ней: мирабилит и галит.

Состав поверхностной рапы рапных озер обычно сложный: она содержит в различных соотношениях хлориды и сульфаты натрия и магния, иногда повышенное количество калия или брома, редко — кальция, что, как правило, определяет целесообразность комплексного использования рапы с извлечением большей части этих компонентов. Однако для разных районов и для разных отраслей народного хозяйства основным является один из перечисленных компонентов, поэтому поиски месторождений обычно направлены на выявление соляных озер с повышенным содержанием такого компонента. По этому принципу можно выделить рапные озера с преобладанием в рапе хлористого натрия или с повышенным содержанием сульфатов натрия и магния. Такие озера могут быть встречены как среди прибрежно-морских, так и чисто континентальных групп соляных озер. В настоящее время рапные озера без отложений солей почти не эксплуатируются.

В недавнем прошлом эксплуатировались Баталпашинские озера (Северный Кавказ) с целью получения из их рапы мирабилита. До 1939 г. полностью рапным был залив Кара-Богаз-Гол площадью более 12 тыс. км^2, с глубиной рапы, местами достигавшей 9 м, с зимней садкой мирабилита, большая часть которого переходила в рапу весной и летом. Примером рапного сульфатного озера может служить Кулундинское с площадью зеркала более 600 км^2 и с запасами сульфата натрия в рапе, превышающими 40 млн. т, при суммарном содержании солей от 4 до 7%. Это озеро сейчас рассматривается как резерв для пополнения рапы и солей в эксплуатируемом оз. Кучук с целью поддержания в нем стабильного гидрохимического режима.

Рапные озера хлоридного типа и хлор-магниевого подтипа сульфатного типа с преобладанием в рапе хлористого натрия и с небольшим содержанием сульфат-иона и иона магния большей частью приурочены к морским побережьям, в частности Черного и Азовского морей, где с помощью системы испарительных бассейнов из рапы этих озер получают поваренную соль, а также бром, сульфаты магния и бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Примером очень крупного рапного озера этого вида можно считать систему заливов Сиваша. Различают Сиваш Восточный, в который через тонкий пролив у г. Геническа поступает вода Азовского моря, Сиваш Южный, также отделенный от моря Арабатской косой, Сиваш Северный и Сиваш Западный. Общая площадь их превышает 1000 км^2. Отдельные бассейны этого залива имеют сложно изрезанную береговую линию с обширными «засухами», которые покрываются водой и рапой только при нагонах последней ветрами и отделяются друг от

друга сужениями. Раньше обводнение отдельных частей Сиваша и глубина рапы в них целиком зависела от направления, продолжительности и силы ветра. После постройки Биюк-Найманской дамбы со шлюзами, пропускающими воду в Северный Сиваш из Восточного только в западном направлении, и Кугаранской дамбы с насосами, закачивающими рапу из Северного в Западный Сиваш, положение изменилось — в Северном Сиваше состав и концентрация солей в рапе стали более стабильными; сумма солей достигла 10—15%. В Западном Сиваше содержание солей в рапе изменилось от 20 до 25%, здесь ежегодно происходит садка галита летом и осенью, при этом в последние годы зимой и весной она полностью не растворяется — постепенно образуется слой старосадки; возникшая зимой новосадка мирабилита весной полностью растворяется. В рапе Западного Сиваша постепенно накапливаются сульфаты натрия и магния, а также хлорид магния и бром. Объектами эксплуатации могут быть не только галит и бром, но и сульфат натрия, сульфат и хлорид магния.

Рапные озера, содержащие соли в донных отложениях, в поверхностной и межкристальной рапе, могут представлять промышленный интерес и при сравнительно небольших размерах, если основное полезное ископаемое (галит или сульфат натрия) находится преимущественно в твердых отложениях (галите, мирабилите, тенардите), а амплитуда колебаний средних глубин, объемы рапы, концентрации в ней солей и их состава в многолетнем периоде не настолько велики, чтобы в увлажненные годы полностью переводить эти отложения в раствор. Примером таких относительно небольших давно эксплуатируемых озер может служить оз. Бурлинское в Алтайском крае, из которого почти два века вручную, а с 1945 г. солекомбайнами добывается галит, пласт которого круглый год покрыт поверхностной рапой. Площадь зеркала озера в разные годы изменяется от 30 до 45 км^2, а глубина поверхностной рапы — от 0,4 до 2,2 м. В летнее время плотность рапы достигает 1,22 г/см^3 и содержит до 27% солей, из них до 23% NaCl. Средняя мощность пласта галита изменяется в широких пределах, достигая 1,5—2,0 м; в многоводные годы она уменьшается на 0,2—0,5 м вследствие перехода в поверхностную рапу NaCl и растворения не только новосадки и старосадки, но и части подстилающей их корневой соли — каратуза, а в засушливые годы — увеличивается. В многолетнем периоде до одной трети всех запасов галита растворяется в рапе или переходит из нее в пласт соли. Осенью из рапы выпадает мирабилит, растворяющийся в ней весной. Под пластом галита залегают линзы мирабилита.

Оз. Кучук в Алтайском крае, соединявшееся с оз. Кулундинским ныне пересохшей протокой, имеет площадь зеркала рапы более 170 км^2, при средней глубине поверхностной рапы 2—

3 м. Поверхностная рапа озера насыщена сульфатом натрия, близка к насыщению хлористым натрием и содержит сравнительно немного иона магния. Осенью и зимой из рапы в результате ее охлаждения выпадает новосадка мирабилита, полностью растворяющаяся весной и летом при повышении температуры. В рапе озера летом заключено более 50 млн. т сульфата натрия и около 25 млн. т хлористого натрия. На дне озера залегает пласт мирабилита мощностью, колеблющейся от 1 до 7 м (средняя мощность около 2 м). Запасы его превышают 300 млн. т.. Под пластом мирабилита залегает мощный слой ила с кристаллами мирабилита. Объектом эксплуатации пока является поверхностная рапа озера, из которой после закачки ее летом в оз. Селитренное зимой выпадает мирабилит. После сброса маточника обратно в оз. Кучук добывают мирабилит, обезвоживают его в заводских условиях для получения из него товарного сульфата натрия. В дальнейшем из маточника можно получать поваренную соль, бишофит и бром. Извлечение из рапы сульфата натрия может привести к постепенному растворению ею пласта мирабилита. Изучается возможность и целесообразность непосредственной разработки пласта с последующей очисткой мирабилита и его обезвоживанием в заводских условиях, что позволит в несколько раз увеличить мощность действующего предприятия по добыче сульфата натрия.

«Сухие» озера, содержащие соли главным образом в донных отложениях, а также в межкристальной рапе со сравнительно выдержанным составом и мощностью отложений солей, с относительно стабильным гидрохимическим режимом поверхностной и межкристальной рапы в многолетнем периоде, по промышленному значению, условиям и способам разработки можно подразделить на три основных типа: 1) озера, в крторых основным объектом эксплуатации являются твердые отложения солей; 2) озера, в которых соли добываются из межкристальной рапы, и 3) озера, в которых могут комплексно разрабатываться твердые соли и рапа. В настоящее время эксплуатируются главные образом озера первого типа, в единичных случаях — второго; озера третьего типа, очевидно, будут осваиваться в недалеком будущем.

«Сухие» соляные озера первого типа, основным полезным ископаемым которых является галит, благодаря применению высокопроизводительных солесосов и солекомбайнов, обогащающих соль в процессе добычи, разрабатываются наиболее широко и с наибольшей экономической эффективностью. В связи с тем, что единичная мощность применяемых сейчас агрегатов изменяется от 100 до 700 тыс. т соли в год, минимальная площадь промышленно ценных озер составляет несколько квадратных километров, оптимальная — несколько десятков квадратных километров, мощность толщи соли должна быть не менее 0,5—1,0 м, желательно несколько метров. Одновременное

использование межкристальной рапы обычно не представляется возможным, так как для нормальной работы солесосов необходимо, чтобы уровень рапы не опускался более чем на 10—20 см ниже поверхности пласта соли. К тому же удаление части межкристальной рапы неизбежно приводит к нарушению гидрохимического режима озера и усилению загрязнения соли. Запасы же солей в рапе невелики. При средней пористости лласта галита 25—30% они составляют менее 10% от запасов соли в пласте. Степень выдержанности качества галита и мощности его пласта, как и низкое содержание в нем растворимых примесей, зависит от размеров озера, конфигурации его берегов, обособленности пласта галита в результате дифференциации солей в озере. Примерами «сухих» соляных озер первого типа с пригодным для эксплуатации пластом галита могут служить оз. Баскунчак в Нижнем Поволжье, Северный и Южный бассейны оз. Джаксы-Клыч в Северо-Восточном Приаралье, оз. Куули в Восточном Прикаспии, эксплуатируемые длительное время. Весьма перспективно по запасам и качеству соли оз. Индер в Гурьевской области.

Оз. Баскунчак, расположенное в Астраханской области, имеет округлые очертания (наибольшая длина 19 км, ширина 10 км и площадь более 115 км^2). Оно приурочено к компенсационной впадине одноименной солянокупольной структуры, с чем связано прогибание озерной котловины и большая мощность солевых отложений, представленных в основном галитом, очень чистым и загрязненным илом и гипсом, залегающим в котловине в виде мощных (несколько десятков метров) линз, разделенных слоями песчано-глинистых пород. Чередование линз галита и терригенных пород соответствует смене регрессий и трансгрессий в бассейне Каспийского моря в ранне- и позднечетвертичное время. Промышленный интерес в настоящее время представляет верхняя линза или пласт соли, отложившийся на хвалынских глинах; формирование его продолжается и сейчас. Поверхность этого пласта практически горизонтальна и находится на отметках ниже —21 м абс. высоты. Поверхностная рапа на озере в холодное время года поднимается на 0,3—0,6 м выше поверхности соли, летом она обычно почти полностью исчезает, а уровень межкристальной рапы опускается ниже поверхности пласта соли. Мощность верхнего пласта галита в южной половине озера достигает 12—15 м, в северной — всего 4—7 м. В вертикальном разрезе пласт неоднороден. Сверху, под слоем новосадки и старосадки, мощность которых редко превышает 0,5—0,6 м, на большей части озера залегает мощный пласт гранатки, в котором чередуются слои более уплотненные, крупнозернистые (сростки галита до 15—20 мм) и более рыхлые, мелкозернистые (сростки галита 2—5 мм), в разной степени загрязненные нерастворимыми илистыми примесями и гипсом. При этом наблюдается тенденция к увеличению

загрязнения вниз по пласту. Переход от гранатки с содержанием нерастворимого остатка до 1—3% к гранатке с илом, содержащимся в количестве 30—50%, неровный, в разных частях озера он то резкий, то постепенный, то в виде чередования гранатки и прослоев ила. Мощность этого переходного слоя колеблется от 1 до 6 м. Ниже лежит пласт глины, сверху засоленной и загипсованной.

До 1960 г. на значительной площади центральной и особенно северной частей озера в отличие от его южной части старосадка и гранатка галита были замещены чугункой — мелкокристаллическим плотно сцементированным галитом очень прочным и монолитным. С тех пор площади и участки, ранее занятые чугункой, постепенно сокращаются и замещаются гранаткой; к 1975 г. их осталось очень мало, а прочность чугунки резко снизилась.

Разведочными работами 1971—1974 гг. установлено, что наиболее чистая поваренная соль приурочена к южной части озера, особенно к верхним слоям пласта галита, наиболее загрязненная— к северной части озера и к более глубоким слоям пласта. Соль после отмывки солесосом отвечает требованиям ко второму сорту (ГОСТ 13830—68) и залегает в основном до глубины 6 м, местами до 8 м. В более глубоких слоях она сильно загрязнена не только нерастворимыми примесями, но и гипсом,, иногда сульфатами натрия и магния.

Оз. Баскунчак издавна славилось высоким качеством поваренной соли и незначительным количеством примесей, позволявшим многие годы добывать из него соль первого и высшего сорта, широко использующуюся в пищевой и химической промышленностях. Добыча соли возросла с 2 млн. т в 1960 г. до 4—5 млн. т в 1972—1975 гг. Однако сопоставление данных разведочных работ 1960; 1971—1974 гг. и проверка химического состава добытой соли показали, что качество ее существенно ухудшилось и в основном отвечает только требованиям ко второму сорту (ГОСТ 13830—68). Это связано как с отработкой более глубоких горизонтов (ранее солесос разрабатывал соль до глубины 3 м, а теперь до 8 м), так и с изменением гидрохимического режима озера, условий его питания, усилением миграции рапы и загрязняющих примесей в южной части озера — в кристаллах добытой соли сейчас нередко наблюдаются включения бурого ила, возросла примесь гипса и увеличились размеры кристаллов последнего. Возможно с этим связано и исчезновение чугунки. Все это требует определения максимально допустимых, без порчи озера, масштабов добычи соли, которые, по-видимому, близки к 1—2 млн. т, и освоения других соляных озер, например Индерского, для покрытия дефицита соли.

«Сухие» соляные озера первого типа, основным полезным ископаемым в которых являются сульфаты натрия (мирабилит

и тенардит), эксплуатировались два-три десятилетия назад в Северо-Восточном Приаралье (Джаксы-Клычское месторождение) и в Прибалхашье (озера Сарабан-Тук-Бире, Тек-Турмас) с целью получения товарного сульфата натрия из пластов мирабилита путем его естественного обезвоживания или за счет образования на его поверхности корки тенардита, а также добычи кускового тенардита из пластов тенардита. Этот сульфат натрия обычно содержал повышенное количество гипса или галита и использовался главным образом в стекольной промышленности, отчасти в качестве флюса в цветной металлургии. Однако запасы мирабилита и тенардита достаточной чистоты были исчерпаны и добыча их прекратилась. Эксплуатировались мирабилитовые озера площадью от нескольких десятков до сотен гектаров с мощностью кондиционного пласта мирабилита от 0,5 до 2,0 м и тенардитовые озера даже небольших размеров с мощностью пласта от 0,2 м и более. При этом кроме кондиционных запасов для прямого использования солей обычно выявлялись значительно большие запасы солей, пригодных только после обогащения (в основном перекристаллизации), которые оставались невыработанными. В настоящее время промышленный интерес могут представлять соляные озера значительно больших размеров, площадью не менее нескольких квадратных километров, и большие скопления более мелких озер, суммарные запасы сульфатов натрия которых могут обеспечить работу горнодобывающего и обогатительного предприятия (фабрики перекристаллизации) производительностью не менее 100—200 тыс. т товарного сульфата натрия в год, т. е. с запасами не менее 15—20 млн. т сырых солей. Кроме редко встречающихся крупных мирабилитовых и еще реже — тенардитовых озер сырьевую базу таких предприятий могут представлять галитовые озера, в которых под пластом галита залегают пласты и линзы сульфатных минералов — мирабилита, тенардита, астраханита, эпсомита. Чистые разности галита могут использоваться для добычи солесосами пищевой соли; загрязненные — для получения дополнительных количеств сульфата натрия в результате перекристаллизации астраханита и эпсомита совместно с галитом. Примером такой крупной группы, насчитывающей более 150 галитовых, мирабилитовых и тенардитовых «сухих» соляных озер площадью от десятков гектаров до десятков квадратных километров с запасами, обеспечивающими фабрику перекристаллизации производительностью до 300 тыс. т сульфата натрия в год, может служить Джаксы-Клычское месторождение, подробно описанное Л. М. Гроховским [10—13].

«Сухие» соляные озера второго типа, в которых основным объектом эксплуатации является межкристальная рапа, должны заключать весьма большие запасы рапы и иметь достаточно, мощные и стабильные источники ее пополнения. Как пра-

вило, состав рапы, заключающей обычно хлориды и сульфаты натрия и магния, предопределяет необходимость ее комплексного использования с получением из нее сульфата натрия, поваренной соли, бишофита, иногда сульфата магния, а также калия, брома и некоторых других микроэлементов. Озера этого типа сейчас в СССР не разрабатываются. Примером близкого к ним озерного бассейна является Кургузульская бухта ныне обсохшей части залива Кара-Богаз-Гол, в которой более 20 лет эксплуатируются межкристальные рассолы второго «погребенного» пласта солей. Отложившийся здесь в 1951—1954 гг. современный пласт солей мощностью 1—2 м, представленный галитом со значительным количеством (до 30%) эпсомита и астраханита, к настоящему времени почти полностью растворен, а соли вынесены в современную акваторию залива. Второй пласт солей, залегающий под пластом уплотненных гипсово-карбонатных илов, мощность которых колеблется от 3 до 5 м, в Кургузульской бухте представлен двумя слоями галита и двумя слоями глауберита, суммарная мощность которых меняется от 5 до 12 м, составляя в среднем 10 м. Ниже, под слоем гипсово-карбонатного ила залегает третий пласт солей, представленный галитом, глауберитом и астраханитом. Пласты солей характеризуются высокой пористостью, с преобладанием крупных пор, и насыщены межкристальной рапой, пьезометрический уровень которой во всех пластах устанавливается близ поверхности верхнего слоя ила или близ сохранившегося местами современного пласта солей, что свидетельствует о гидравлической связи всех рассольных горизонтов между собой и с поверхностной рапой залива Кара-Богаз-Гол.

В эксплуатируемом втором рассольном горизонте средняя пористость слоев галита составляет 34,2%, слоев глауберитовой породы 22,1%. Коэффициент фильтрации на разных участках второго пласта менялся от 400 до 1800 м/сут, в процессе эксплуатации он увеличился до 3 тыс. м/сут, из каждой эксплуатационной скважины добывалось по 300—600 $м^3$/ч рассола. Температура рапы во втором пласте в годичном цикле колеблется от 15 до 17° С. В солевом составе рапы неодинаковом по площади и мощности пласта преобладают хлористый натрий, сернокислый и хлористый магний, с таким содержанием и соотношением их, которое при охлаждении рапы до 0°С обеспечивает выпадение из 1 $м^3$ рапы от 90 до 185 кг мирабилита. Фактически из каждой эксплуатационной скважины в течение многих лет получали рассол с очень стабильным выходом мирабилита, который снижался по годам очень медленно. Вместе с тем на площади Кургузульской бухты происходило интенсивное карстование второго пласта солей, сопровождавшееся образованием крупных карстовых воронок, особенно на участках, тяготеющих к рассолозабору. Это указывает на то, что формирование стабильного состава откачиваемых рассолов происхо-

дило в результате распада глауберита и растворения слоев галита с донасыщением рассолов разного состава относительно сульфата натрия.

В течение многих лет из рапы получали только мирабилит, а из него обезвоженный сульфат натрия. В последние годы комбинат Карабогазголсульфат выпускает также сульфат магния и бишофит, однако значительная часть последних, а также поваренная соль не извлекаются и не используются.

Опыт использования рассолов из погребенных пластов солей Кургузульской бухты залива Кара-Богаз-Гол показывает, что при добыче этих рассолов в эксплуатацию вовлекаются и твердые соляные отложения, что требует изучения вещественного состава последних и условий, при которых они переходят в рассол. Межкристальная рапа представляет собой комплексное сырье, из которого, как правило, должны извлекаться все заключенные в нем компоненты.

«Сухие» соляные озера третьего типа, в которых объектом эксплуатации могут являться твердые соли и рапа площадью в сотни и тысячи квадратных километров, встречаются редко. Уникальным примером таких озер является залив Кара-Богаз-Гол, площадь обсохшей части которого («соляной суши» с пластом солей) превышает 3 тыс. км^2, а площадь акватории, под которой также имеется пласт солей, составляет более 10 тыс. км^2. Мощность современного пласта солей, представленного галитом, эпсомитом и астраханитом, на значительных участках достигает 3 м, суммарная мощность погребенных пластов солей, сложенных в основном галитом и глауберитом, местами с крупными линзами астраханита, реже — эпсомита, меняется от 3 до 18 м и более. Средняя глубина поверхностной рапы в пределах акватории залива составляет около 2 м, максимальная до 3 м. Объемы поверхностной и межкристальной рапы, твердых отложений солей исчисляются многими кубическими километрами. В пределах залива Кара-Богаз-Гол возможна одновременная или последовательная разработка в гигантских масштабах межкристальной рапы погребенных и современного пластов солей, поверхностной рапы акватории и твердых современных отложений солей. При этом все виды сырья залива Кара-Богаз-Гол комплексные; экономически наиболее целесообразно извлекать из них все макрокомпоненты и большую часть микрокомпонентов, особенно бром, калий, бор и другие, организовав широкий комплекс химических производств.

Ископаемые месторождения каменной соли и сульфатов натрия по их промышленному значению, методам изучения и эксплуатации можно разделить на несколько групп, выделив из них наиболее промышленно ценные.

Ископаемые месторождения сульфата натрия и солей, пригодных для его получения, отличаются значительной изменчивостью минерального и химического состава солей, а также со-

отношениями легкорастворимых солей, глауберита, гипсово-карбонатных илов и галопелитов. При необходимости их промышленной оценки они, как правило, могут быть отнесены в одну группу с мелкими, не выдержанными по качеству и условиям залегания месторождениями галита. Среди них имеются месторождения континентального (Чуль-Адыр, Кочкорка) и морского (Узун-Су, Кушканатау) генезиса. Почти во всех месторождениях встречены пласты галита, обычно небольшой мощности. Галит в них редко имеет самостоятельное значение и может использоваться в основном попутно при комплексном освоении месторождения. Иногда из-за значительного его загрязнения он добывается для местных нужд в качестве кормовой соли для скота.

Ископаемые месторождения каменной соли по размерам и морфологии соляных залежей, сложности их внутреннего строения и условий залегания, выдержанности мощности, качества и технологических свойств соли можно разделить на четыре основных типа.

I. Пластовые, выдержанные по мощности и качеству соли.

II. Пластово-линзообразные, относительно выдержанные по мощности и сравнительно устойчивые по качеству соли.

III. Пластово-линзообразные и линзообразные, не выдержанные по мощности, со сложным внутренним строением, относительно устойчивые по качеству соли.

IV. Солянокупольные структуры, не выдержанные по строению и мощности соляной толщи, не устойчивые по качеству соли.

К I типу относятся соляные залежи, протягивающиеся на десятки и сотни километров, залегающие почти горизонтально или пологопадающие, незначительно нарушенные, с небольшой амплитудой колебаний мощностей пластов соли и содержаний основного вещества и примесей. К этому типу могут быть отнесены: Тыретьское месторождение в Иркутском соленосном бассейне (кембрий), Новомосковское месторождение в Подмосковном бассейне (средний девон), Артемовское и Славянское месторождения в Донбассе (нижняя пермь), Гусевское месторождение в Калининградском бассейне (верхняя пермь) и др.

Ко II типу относятся соляные залежи протяженностью до нескольких десятков километров, сложенные толщами соли, представляющими в разрезе и в плане чередование интервалов, или участков, соли с разной степенью загрязнения примесями, и несолевых пород, иногда образующих различные по составу линзы соли, замещающие друг друга и выклинивающиеся, залегающие горизонтально или наклонно на крыльях антиклинальных или синклинальных складок, иногда тектонически нарушенные, но без явных проявлений диапировой тектоники. К этому типу могут быть отнесены Неграмское и Нахичеванское месторождения в Нахичеванской мульде (неоген),

Эларский и некоторые другие участки Приереванского бассейна (неоген), Шедокское месторождение на Северном Кавказе (юра) и др.

К III типу относятся соляные залежи, сложенные чередующимися и замещающими друг друга линзами каменной соли различного состава, иногда с линзами других солей, выклинивающимися на сравнительно коротких расстояниях; нередко осложненные тектоническими нарушениями, часто приуроченные к антиклинальным или синклинальным структурам; в пределах каждой линзы качество солей сравнительно устойчивое. К этому типу могут быть отнесены: Тут-Булакское месторождение в Таджикистане (нижний мел), Яр-Бишкадакское месторождение в Башкирии (нижняя пермь) и др.

К IV типу относятся соляные залежи или части их, слагающие центральные тела или ядра антиклиналей, осложненные разрывными нарушениями или дисгармоничной складчатостью с явлениями диапиризма. Кроме того, к этому типу относятся солянокупольные структуры, характеризующиеся сложной внутренней тектоникой и сложными закономерностями изменения качества соли, которые трудно выявить разведочными скважинами с поверхности земли в связи с невозможностью получения необходимой для этого плотности сети скважин из-за опасности обводнения месторождения и ухода большей части запасов в охранные целики. К этому типу могут быть отнесены: Ефремовское, Мозырское, Сереговское месторождения, приуроченные к соляным куполам, Солотвинское, Ходжамумынское, приуроченные к солянокупольным структурам, Камыш-Курганское месторождение, приуроченное к сложно построенной Кызыл-Джарской антиклинальной структуре, и др.

По классификации запасов твердых полезных ископаемых месторождения соли I и II типов, как правило, относятся к I группе, для которой необходимо и возможно выявление запасов категории А при детальной разведке; месторождения III типа отчасти относятся к I группе, а отчасти к группе II, для которой при детальной разведке возможно и целесообразно выявление запасов категории В; месторождения соли IV типа обычно относятся ко II или даже к III группе, для которой при детальной разведке возможно и целесообразно выявление запасов только категории C_1.

По сравнению с месторождениями других полезных ископаемых месторождения ископаемых солей разведуются более редкой сетью скважин, но сокращение расстояний между ними для выявления деталей строения, закономерностей изменения качества и других факторов, определяющих степень разведанности месторождений, часто недопустимо не только по экономическим соображениям, но и из-за опасности порчи месторождения и возникновения катастрофы в будущем подземном руднике, с чем связано и отнесение этих месторождений к той или иной

группе. Основным источником информации о них является возможно более полное изучение всего соленосного бассейна в целом и выявление закономерностей его развития, условий отложения в нем солей и их диагенетических превращений.

Для отнесения месторождения каменной соли к I или II группе кроме сложности его геологического строения большое значение имеет способ намечаемой его разработки и основное назначение каменной соли, от которых зависит степень жесткости требований, предъявляемых к качеству соли и к выдержанности в недрах. Так, при шахтной добыче соли содержание в ней вредных примесей и степень их выдержанности имеют решающее значение из-за крайней сложности ее обогащения. При добыче соли методом подземного выщелачивания повышенное содержание в ней нерастворимых и труднорастворимых примесей и даже значительные их колебания не имеют столь важного значения, так как все эти примеси оседают в камере и в рассол не переходят. Значительно легче и дешевле освободить рассол от растворимых примесей магния, кальция, сульфатов очисткой его химическими реагентами. При этом способе больше возможностей для усреднения рассолов с разными качественными показателями. Все это позволяет резко расширить пределы допустимых колебаний содержаний вредных примесей, а следовательно, и упростить контуры тел полезного ископаемого, требующие геометризации, до размеров, вскрываемых и редкой сетью скважин. То же относится к рассолам, применяемым для содового производства.

ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ И ДЕТАЛЬНАЯ РАЗВЕДКИ

В связи с тем, что сырьевой базой для получения поваренной соли и сульфата натрия могут служить современные озерные и древние ископаемые месторождения, а геологическая приуроченность, задачи и методика их поисков и разведки существенно различаются, то еще до постановки поисковых работ необходимо с учетом конкретного назначения солей и данного района, сделать обоснованный выбор: какая из этих групп месторождений может быть принята в качестве оптимального объекта поисков, предварительной и детальной разведки.

Выбор облегчается тем, что современные соляные озера приурочены к засушливым территориям; большая часть их, особенно крупных, когда-то обследовалась; в литературе имеются хотя бы краткие и неполные сведения о них. К настоящему времени известны и почти все древние соленосные бассейны, во всяком случае участки их, залегающие до глубины 1000—2000 м, т. е. на глубинах, доступных для разработки методом подземного выщелачивания соли. В северных районах

СССР, в Восточной Сибири, в горных районах, где эти бассейны изучены слабо, соляные озера, пригодные для промышленного освоения, практически отсутствуют.

Современные соляные озера

Поиски современных соляных озер. Проведению полевых поисков озер должны предшествовать предполевые камеральные работы, основной задачей которых является выбор объектов, заслуживающих полевого поискового обследования. Особая важность этих работ связана с тем, что соляные озера являются современными образованиями, находящимися на поверхности земли под постоянным воздействием современных геологических процессов и гидрометеорологических факторов, и представляют различные стадии процесса формирования месторождения солей, продолжающегося и сейчас. Этим обусловлено наличие в озерах жидкой и твердой фаз, соотношение которых может изменяться за короткие промежутки времени в зависимости от изменений условий питания этих озер, климатических условий в районе и других современных факторов. Озера находятся на поверхности и доступны непосредственному наблюдению, что способствует тому, что большая часть их с различными целями посещалась неоднократно и они в том или ином виде фиксировались не только на геологических, но и на топографических картах, а также на фотоматериалах аэрофотосъемки, иногда повторно через несколько лет, в разные сезоны года. Сопоставление материалов разных лет позволяет получить представление о характере развития и изменения состояния озер во времени.

Предполевые камеральные работы включают: 1) сбор и обобщение литературы и фондовых материалов, включая кадастры и сводки разных лет; 2) сбор и изучение картографических материалов; 3) сбор и анализ аэрофотосъемочных материалов по съемкам прежних лет, их дешифрирование. Все три вида камеральных работ лучше проводить параллельно, с соответствующей их координацией и сопоставлением полученной информации.

Литературные сведения о соляных озерах целесообразно систематизировать в виде картотеки, а местоположение озер наносить на бланковую карту.

Работа с картографическим материалом обычно заключается в просмотре топографических, сначала мелкомасштабных, а затем по районам, перспективным для нахождения соляных озер, и крупномасштабных карт, на которых выделяются и систематизируются объекты, подлежащие дальнейшей проверке и полевому обследованию. К ним относятся озера, заболоченные участки и солончаки, особенно непроходимые, с которыми

могут быть связаны «сухие» соляные озера, бессточные котловины, сухие дельты пересыхающих рек.

Работа с аэрофотосъемочными материалами прежних лет заключается в беглом просмотре фотопланов или фотосхем, перспективных для поисков территорий, и в дешифрировании и детальном изучении аэроснимков районов сосредоточения соляных озер. Аэрофотоматериалы позволяют детально познакомиться с озерными котловинами и соляными озерами, различить детали строения дна рапных и солевой залежи «сухих» озер, особенно пляжевой или соровой полосы и прибрежных частей озера. При достаточном навыке удается хорошо различать такыры, соры и соляные озера с пластами солей.

Результаты дешифрирования аэрофотоматериалов сопоставляются с литературными материалами и картами. Затем намечаются объекты для проверки в полевых условиях.

Общие поисковые работы заключаются в обследовании перспективного для поисков района маршрутами на автомашине в сочетании с пешеходными маршрутами и проверке объектов, намеченных камеральными работами. Основной задачей этого этапа поисковых работ является выделение и отбор соляных озер, перспективных для более детального изучения. Они носят проверочный характер. При обследовании больших территорий целесообразно применять аэровизуальные наблюдения с самолета или вертолета, а в районах, труднодоступных для автотранспорта (например, среди полузакрепленных песков или в сильнозаболоченных районах), с помощью самолета или вертолета возможно и наземное обследование отдельных соляных озер. В полете фиксируются все особенности и характерные детали озер, их взаимное расположение, характер связи между ними, береговые полосы, впадающие в них ручьи и овраги, условия подхода и подъезда к ним.

Для наземных маршрутов используются автомашины повышенной проходимости или вездеходы, снабженные достаточным количеством горючего и воды, а также приспособлениями для преодоления труднопроходимых участков — массивов песков, соров, протоковидных понижений. Совершенно обязателен набор ареометров, термометров, бутылок, банок или полиэтиленовых емкостей для проб рапы и солей.

Обследование озера обычно требует проведения пешеходного маршрута по периметру озера или подъезда к нему с нескольких точек на противоположных берегах, а также пересечение его по нескольким поперечникам. Обследуется состояние соровой полосы: ее ширина, вязкость, топкость, наличие родников, выцветов солей, пятен ожелезнения, ручьев, оврагов, террас, степень ее заиливания и засоления. Описывается состояние поверхности озера, устанавливается наличие полигональных отдельностей, трещин, валиков галита, участков с шишечками «пикоти» и с уплотненным галитом; фиксируются «окна», про-

моины, места размещения на озере, их глубина и размеры.

По крестообразным пересечениям, профилям или редкой сетке проходятся закопушки, или шурфы, по которым описывается строение и характер слоев солей, их загрязненность. В рапе из шурфов определяется ее плотность и температура, отбираются пробы на химический анализ. Мощность соли нередко приходится определять щупом.

Обследование рапных озер требует использования плавучих средств: резиновых лодок, надувных матрацев и др. На крупных озерах применение их допустимо только при соответствующей страховке и наличии запасных плавучих средств. Мерной рейкой на озерах промеряются глубины рапы; щупом проверяется мощность илов, наличие отложений солей. Пользуются также различными пробоотборниками и грунтоносами.

Детальные поисковые работы проводятся на соляных озерах, выбранных в результате проведения общего этапа поисков или предполевых камеральных работ. При этом резко сокращается число обследуемых озер и увеличивается время на обследование каждого из них. В состав поискового отряда обычно включается буровая бригада или проходчики шурфов. Необходима известная специализация отряда, так как обследование рапных и «сухих» озер требует различного снаряжения и оборудования. На «сухих» соляных озерах в зависимости от строения солевой залежи и ее обводненности проходятся скважины или шурфы. Несмотря на архаичность ручного бурения, на поисковой стадии во многих случаях приходится его применять: из-за нескольких мелких скважин глубиной до 3—5 м применять тяжелый станок сложно, а переправа его через топкую соровую полосу требует строительства дорог. Бурение солей часто осуществляется желонкой; применяется много разных самодельных приспособлений: труба с нарезанными зубцами и прорезями, колонковые разборные наконечники, стальные забивные стаканы и др.

На каждом озере в зависимости от его размеров проходится от 3 до 15 скважин или шурфов. Последние проходятся на мирабилитовых или тенардитовых озерах. Щупом проверяется наличие залежи между скважинами и ее границы в прибрежных частях озера. Из скважин и шурфов отбираются пробы солей и рапы на химический анализ. Отбор их ведется параллельно с документацией, как правило, по макроскопически выделенным интервалам или слоям, характеризующимся разным составом солей или степенью их загрязненности. Кроме документации выработок тщательно описывается озеро, отложения солей в нем, еоровая полоса.

На рапных озерах промеряются глубины рапы, проверяются наличие и состав донных отложений солей, мощность илов в разных частях озера, определяются плотность и температура рапы в центральных и прибрежных частях, в приповерхностном

и придонном слоях ее, отбираются пробы на химический анализ.

По результатам обследования выбираются озера для дальнейшего изучения.

Поисково-оценочные работы. На этом этапе существенно изменяется основная задача поисковых работ. От проверки и получения ориентировочных сведений о соляных озерах, заслуживающих дальнейшего изучения, переходят к количественной оценке запасов солей и рапы; определению соответствия их качества требованиям промышленности; выяснению режима озера, его стабильности; выявлению запасов солей, по степени изученности отвечающих требованиям к категории C_2.

На «сухих» соляных озерах проходят скважины (реже шурфы) с полным пересечением солевой залежи. На крупных озерах бурение желательно проводить самоходной буровой установкой. Для этого заблаговременно выбираются наименее топкие участки соровой полосы и через них строится насыпь или гать. Иногда возможно форсирование соровой полосы машинами с помощью дощатых щитов или настилов.

Скважины в зависимости от округлой, овальной или протоковидной формы озера располагаются по квадратной или прямоугольной сети с таким расчетом, чтобы ими были равномерно освещены и прибрежные и центральные части озера. Расстояния между скважинами зависят от размеров озер, выдержанности мощности и строения солевой залежи; они могут меняться от 1 км на крупных озерах до 400 м и даже до 200 м на относительно мелких. На таких крупных водоемах как залив Кара-Богаз-Гол они могут увеличиваться и до 5 км. Такой сетью озеро, как правило, освещается целиком. На линии, проходящей через центральные части озер, стараются расположить не менее четырех-пяти выработок. Сеть принимается с расчетом дальнейшего использования ее при более детальном изучении озера.

Обследование рапных озер специфично. В озерах без отложений солей оно сводится к промеру глубин рапы по профилям с лодки или понтона, отбору небольшого числа проб рапы в их центральных и краевых частях, проверке щупом донных иловых отложений, отбору единичных проб их. Для получения общих сведений о режиме озера желательно повторное его обследование осенью, зимой и весной. На рапных озерах с отложениями солей в зависимости от их размеров и глубины сооружаются понтоны различной осадки и прочности. На них монтируют станок или треногу, если бурение осуществляется вручную. Для буксировки понтонов на крупные озера приходится доставлять катер с двигателем воздушного охлаждения. Учитывая сложность повторной организации бурения, на крупных рапных озерах иногда при положительных результатах поисковой стадии ее целесообразно совмещать со стадией предварительной разведки.

В процессе изучения соляных озер большое, иногда решающее значение имеет установление стабильности озера, характер и скорость протекающих в нем процессов изменения состава рапы и отложений солей, для определения которых необходим более длительный срок наблюдений за озером. Поэтому еще на стадии поисков на озерах, перспективных для дальнейшего изучения, оборудуются наблюдательные посты и организуются стационарные наблюдения за режимом озера, включающие наблюдения за уровнями, температурой, плотностью поверхностной рапы, а на «сухих» и рапных озерах с отложениями солей также за межкристальной рапой. Одновременно организуются наблюдения за грунтовыми водами в окрестностях озера. На наблюдательных постах регулярно, не реже одного раза в месяц, отбираются пробы рапы и грунтовых вод на химический анализ. Систематически отбирают также пробы солей, учитывая переход некоторых из них в жидкую фазу в одни сезоны и в твердую — в другие, на химический и минералогический анализы. Иногда отбирают и пробы илов.

Из-за специфики озерных месторождений солей, в которых всегда имеется большое количество метастабильных, периодических или сезонных минералов, особенно кристаллогидратов, а также кислых и основных солей, из-за изменения температуры и состава рапы (выпадение в осадок, растворение), изменения температуры и влажности воздуха, приводящего к обезвоживанию или расплыванию, переходу в раствор и вытеканию из пробы, иногда распаду на составные части (например, глауберит), длительное хранение отобранных проб рапы и солей в сыром виде, даже в герметической упаковке, нежелательно. Поэтому, начиная с ранних стадий изучения озера, необходимо организовать полевую лабораторию, в которой можно производить в кратчайшие сроки после отбора проб экспресс-анализы, включающие определение всех основных компонентов, простейшие минералогические анализы, а также обрабатывать и консервировать пробы для дальнейшего изучения в условиях стационарной лаборатории.

Важнейшую роль играет тщательная, детальная и квалифицированная документация солей, в которой должны быть отражены количество, форма нахождения, характер взаимосвязи солевых минералов, особенно нестабильных, и загрязняющих соли примесей. Геолог, проводящий документацию, выполнять которую надо немедленно по извлечении керна скважин и при проходке шурфов, должен хорошо различать основные соляные минералы: галит, мирабилит, эпсомит, астраханит, тенардит, глауберит, гипс. Это важно и при описании проб солей, выполняемом при их отборе. Пробы отбираются, как правило, послойные. Массовыми химическими анализами солей в полевой лаборатории обычно определяется содержание Mg^{2+}, Ca^{2+}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^-, Na^+ (по разности), нерастворимых в воде

примесей (н. о.) и H_2O. Обычно проводится анализ водной вытяжки пробы, но иногда для полного извлечения гипса приходится комбинировать ее с солянокислой вытяжкой, особенно при наличии в солях глауберита, а также карбонатов кальция и магния. Анализами рапы и грунтовых вод определяются те же компоненты, только вместо н. о. и H_2O определяется содержание плотного или сухого остатка. Определения K, Br, B, Sr, Fe и других микрокомпонентов производятся в стационарных лабораториях.

Результаты анализов, выраженные в ионной форме, солей — в весовых процентах, рапы — в граммах на килограмм или литр раствора, а также в грамм-эквивалент процентах, обязательно пересчитываются на солевой состав.

На основе поисково-оценочных работ выбирается озеро (одно или несколько) или часть его для производства предварительной разведки с учетом количества необходимых запасов, а также перспектив расширения будущего предприятия.

Предварительная разведка озерных месторождений солей проводится на соляных озерах, выявленных поисковыми работами. Многообразие этих месторождений, прежде всего по соотношению жидкой и твердой фаз (рапные озера, рапные озера с солевыми отложениями, «сухие» озера, «подпесочные» озера), отражающему стадию развития озера, требует при их разведке разного подхода, применения различных методов изучения и промышленной оценки. Основной задачей предварительной разведки является дальнейшее изучение соляного озера в объемах, обеспечивающих предварительную геолого-экономическую оценку его, определение возможных и допустимых масштабов эксплуатации, решение вопроса о целесообразности и сроках его освоения и перехода к детальной разведке. Одной из задач предварительной разведки должно быть выяснение основных факторов, определяющих методику детальной разведки, и стабильность твердой и жидкой фаз на период эксплуатации.

Изучение соляного озера на стадии предварительной разведки заключается в более детальном по сравнению с поисками определении количества, состава и качества запасов солей, строения солевых отложений, характера размещения отдельных пластов солей, закономерностей изменения состава и содержания основных компонентов солей по площади озера и мощности солевой залежи, характера изменения состава рапы, поверхностной, межкристальной и иловой, по площади озера и во времени — по сезонам и в многолетнем периоде, взаимосвязи жидкой и твердой фаз, переходов солей из одной фазы в другую, степени стабильности процессов, протекающих в озере, и направления развития озера. Для этой цели более полно, чем при поисково-оценочных работах, изучаются режим соляного озера, условия питания его водой и солями в объемах, необхо-

димых для надежного прогнозирования состояния озера на период его возможной эксплуатации.

Расположение выработок и плотность разведочной сети или точек промера глубин и опробования поверхностной рапы определяются в каждом отдельном случае в зависимости от особенностей соляного озера. При этом рапные озера на стадии предварительной и детальной разведки изучаются полностью с одинаковой детальностью всех их частей, только в точках наиболее вероятных рапозаборов проводятся дополнительные специальные исследования. Жидкая фаза рапных озер с отложениями солей, наряду с предварительным изучением их по всему озеру, на крупных соляных озерах должна обследоваться более детально на перспективных для первоочередного освоения участках. На «сухих» озерах, особенно крупных, наряду с предварительным изучением твердой и жидкой фаз по всему озеру производится более детальное обследование отложений солей и межкристальной рапы на отдельных участках.

Основным видом разведочных выработок для изучения солевых отложений соляных озер являются скважины колонкового бурения. Однако применение его не всегда дает хорошие результаты при разбуривании слабых и рыхлых солевых пород, особенно гранатки галита, которую в ненарушенном состоянии извлечь из колонковой трубы обычно не удается. Кроме того, часто происходит перемешивание слоев ее при бурении. Поэтому желательно, чтобы диаметр колонковых труб был возможно большим — при бурении пласта гранатки не менее 127 или 168 мм, а скорость вращения снаряда была минимальной. Это относится и к бурению по пластам рыхлого мирабилита и эпсомита. Хороший столбик керна получается при бурении пластов астраханита, тенардита, мирабилита-стеклеца и галита-чугунки. Бурение ведется без промывки и подлива рапы в скважины, с ручным или механическим расхаживанием колонковой трубы (постоянным перемещением ее вверх и вниз). Прекращение расхаживания трубы, особенно в галите, нередко приводит к столь сильному истиранию галита, что образующаяся «мука» плотно запечатывает колонковую трубу. Нередки прихваты ее на забое. Буровые коронки для бурения солей армируются таким образом, чтобы обеспечивался зазор колонковой трубы в 5—6 мм.

Для получения ненарушенного керна по рыхлым пластам солей целесообразно проверить возможность применения самоходных станков с забивным стаканом, с одновременной обсадкой труб, а также станков вибрационного бурения, которые выпускаются для инженерно-геологических работ.

На «сухих» и особенно на рапных озерах применяется также зондировочное бурение, с целью установления сплошности солевых отложений и ориентировочной мощности ее между основными разведочными выработками, выявления участков, где она

замещена илом, и ее оконтуривания в прибрежных частях озера. Располагаются зондировочные скважины профилями между разведочными скважинами или по сети в 2—4 раза более густой, чем сеть разведочных скважин.

На стадии предварительной разведки, исходя из особенностей озерных месторождений солей, в тех случаях, когда запасы их в озере или группе озер ограничены, на первое место выдвигается задача определения достаточности запасов для обеспечения проектируемого предприятия на его амортизационный срок. Если озеро очень крупное, с запасами солей, превышающими потребность в них, то основной задачей становится выбор в пределах озера участков с наиболее высокими качественными показателями солей и лучшими горнотехническими и транспортными условиями. Для озер с невыясненными особенностями режима основной задачей является изучение режима. По степени разведанности на сравнительно небольших озерах все запасы солей изучаются с детальностью, необходимой для отнесения их к категории C_1; на озерах крупных и очень крупных, общие запасы солей которых значительно превышают требуемые, до категории C_1 разведуются запасы на перспективных для освоения участках, а на остальной площади озера — до категории C_2.

На стадии предварительной разведки, как и на других стадиях, все исследования проводятся поэтапно, с постоянным использованием в дальнейшей работе всех вновь получаемых сведений.

На крупных озерах с хорошей выдержанностью мощности пласта и качества соли расстояния между разведочными скважинами на площадях с запасами, отнесенными к категории C_1, составляют от 400 до 800 м, на более мелких они сокращаются до 400 м, а на мелких, с невыдержанным качеством соли могут даже составлять 100—200 м. Однако при очень больших размерах озера чрезмерное разрежение сети недопустимо, так как оно может привести к пропуску крупных участков с некондиционным качеством соли или малой мощностью пласта. На таких озерах до категории C_1 разведуются только лучшие и наиболее удобные участки, но с расстояниями между скважинами не более 0,8—1,0 км. Выявление таких участков производится на первом этапе предварительной разведки с помощью более редкой сети скважин (2—4 км).

На «сухих» мирабилитовых и тенардит-мирабилитовых озерах разведочные скважины иногда заменяются шурфами, проходка которых возможна из-за сравнительно низких коэффициентов фильтрации пластов мирабилита и тенардита. На «сухих» галитовых озерах проходка шурфов обычно невозможна из-за оплывания стенок и столь больших водопритоков, что понизить уровень рапы не удается даже мощными насосами. При крайней необходимости для отбора полупромышленных

проб и т. п. проходка единичных шурфов производится с применением очень сложных и дорогих инженерных мероприятий.

Следует подчеркнуть, что в стадии предварительной разведки месторождение и заключенные в нем соли необходимо опробовать и изучать с такой же полнотой и детальностью, как и при детальной разведке. Такая необходимость обусловливается тем, что именно на этой стадии должны принципиально решаться вопросы о целесообразности промышленного освоения месторождения, об основных областях использования сырья; о способах его добычи, обогащения и переработки; характере и степени изменчивости его свойств, качества и состава; режиме и стабильности его жидкой и твердой фаз.

Предварительная разведка рапных соляных озер, в которых основным полезным ископаемым является рапа, заключается в единовременных по всему озеру промерах глубин и отборе проб рапы по разреженной сети обычно соответствующей принятой для категории C_1. Плотность сети промеров глубин, как правило, должна быть одинаковой по всему озеру; то же относится и к точкам отбора проб; т. е. все запасы рапы по всему озеру должны относиться к одной категории. Это не исключает более частых промеров глубин и отбора дополнительных проб на участках с теми или иными отклонениями по глубине или составу рапы для выяснения их характера и влияния на запасы или состав рапы. Единовременные промеры глубин и отбор проб чаще всего проводятся в августе или сентябре, в период наибольшей концентрации солей в рапе. Они обязательна должны дополняться по меньшей мере двухгодичным циклом наблюдений за изменением уровней рапы, ее плотности, температуры и химического состава.

Для разведки соляных озер геофизические методы исследований пока не применялись, несмотря на то, что использование их могло бы быть очень эффективным, поскольку месторождения расположены практически у поверхности земли и различия физических свойств пластов солей разного состава значительны. Очевидно, в ближайшее время целесообразно разработать комплекс наиболее эффективных площадных и каротажных методов и проверить его в полевых условиях. Необходимость скорейшего внедрения геофизики в поиски и разведку соляных озер обусловливается большими трудностями изучения внутреннего строения и состава пластов солей, часто неустойчивых, с пористостью до 30—40%, насыщенных рапой, не позволяющих получать при бурении скважин вполне достоверные данные по рыхлым породам и проверять их шурфами из-за невозможности проходки последних. Очевидно, для этих целей можно будет использовать как площадные, или поисковые, методы, применяемые для выяснения различных физических аномалий с поверхности озера и его прибрежных частей, так и поисково-разведочные, или каротажные, методы, используемые для исследо-

вания геологического разреза по поисковым и разведочным скважинам. Из первых наиболее приемлемыми могут быть электрометрические методы, прежде всего электрозондирование и электропрофилирование; различные модификации электротермических, термометрических и оптико-волновых методов, включающих измерение излучений и поглощения в инфракрасной и ультрафиолетовых частях спектра, в том числе с применением аэрофотометрии разных длин волн; радиометрические методы, включая гамма-съемку. Очень интересные результаты могут быть получены при ультразвуковом «просвечивании» солевых и иловых отложений озер. Из каротажных методов перспективно применение электро-, термокаротажа, ультразвукового или акустического каротажа, разнообразных методов радиометрического каротажа.

Детальная разведка соляных озер производится буровыми скважинами, в редких случаях шурфами (для мирабилитовых и тенардит-мирабилитовых «сухих» озер), которые располагаются с учетом скважин, пробуренных на стадии предварительной разведки и намечаемой системы разработки месторождения. Расположение скважин и ориентировка разведочной сети определяются на стадии предварительной разведки месторождения и уточняются на стадии детальной разведки при последовательном сгущении сети. Рекомендуемые инструкцией ГКЗ [28] расстояния между скважинами и шурфами не должны рассматриваться как обязательные. В то же время расстояния между скважинами в 400 м для категории В и 800 м для категории C_1 применимы только для очень крупных соляных озер с выдержанными на больших расстояниях по мощности, составу и качеству пластами солей, а дальнейшее разрежение сети нецелесообразно.

В процессе детальной разведки толща солей в озере расчленяется на слои и пласты, характеризующиеся однородным минеральным составом и близким содержанием основных компонентов, и слои некондиционные, загрязненные илом или другими примесями. Слои, прослои, линзы солей должны быть прослежены, сопоставлены и увязаны во всех скважинах. Необходимость этой увязки в значительной степени определяет оптимальную плотность разведочной сети.

При детальной разведке вытянутых, протоковидных соляных озер необходимо расположить разведочную сеть таким образом, чтобы в каждом профиле было не менее четырех-пяти скважин, освещающих прибрежные и центральные части солевой залежи.

Детальная разведка производится обычно с использованием топографической основы масштаба 1:2000 или 1:5000. На крупных озерах можно использовать основу масштаба 1 : 10 000, но с более детальным сечением горизонталей, чем принимаемое при съемке этого масштаба. Топографическая съемка

должна охватывать не только соровую полосу вокруг озера, но и его коренной берег на расстояниях от 100 м на мелких до 1000 м на крупных озерах. Скважины на соляных озерах должны пересекать все отложения солей и углубляться в подстилающие эти отложения и слой ила породы на глубину, достаточную для определения их коренного залегания. В ряде случаев углубление скважин на 1—2 м в подстилающие породы целесообразно для выяснения условий питания озер.

В более редких случаях, когда мощность солевой залежи велика (до 20 м и более), большая часть скважин проходится до установленного горизонта разработки месторождения. Меньшая же их часть вскрывает все пласты солевой залежи и углубляется в подстилающие породы.

Значительное место в разведочных работах занимает изучение соляного карста, распространенного во многих озерах — в прибрежных частях и районах развития «окон». Изучение его распространения и морфологии обычно осуществляется зондировочным бурением или щупами. На озерах, в которых солевая залежь покрыта слоем рапы, а бурение ведется с понтонов или специальных оснований, особенно важна точная привязка точек заложения скважин, которая большей частью производится до начала бурения и проверяется при установке бурового станка на эти точки. Детальная разведка рапных соляных озер с солевой залежью на дне, как правило, очень трудоемка и сложна, поэтому в данном случае особенно важно проводить последовательное сгущение сети скважин с расчетом ограничения их минимально необходимым числом. Общее число скважин, пройденных на площади разведки солей по промышленным категориям, должно быть достаточно большим (во всяком случае не меньше нескольких десятков). Для обеспечения отбора представительных проб из донных отложений солей необходимы: 1) тщательная обсадка трубами солевой залежи для изоляции ее от поверхностной рапы и 2) достаточно большой диаметр бурения.

Изучение бассейна соляного озера. То обстоятельство, что соляные озера, как правило, являются современными образованиями и что их формирование продолжается и в настоящее время, предопределяет необходимость изучения кроме самого месторождения (озерной рапы и солей) и бассейна озера: его геологического строения; состава вмещающих его пород; водоносных горизонтов и их фильтрационных свойств; состава и минерализации связанных с ними вод; связи с озером водоносных горизонтов, их роли в его питании и воздействии на режим.

Изучение особенностей и размеров поверхностного стока в озеро может заключаться в измерении расходов воды по основным водотокам, в том числе временным, и наблюдениях за их

изменением в течение года или нескольких лет методами, применяемыми в гидрологии.

Исследование подземного стока в озеро и его связей с горизонтами подземных вод включает изучение развитых в бассейне озера водоносных горизонтов.

В большинстве случаев ограничиваются обследованием бассейна озера единичными скважинами, по данным которых определяются основные параметры водоносных горизонтов, направление и скорости потока подземных вод; минерализация и химический состав подземных вод, изменение их по площади бассейна и направлению потока; возможные участки связи водоносных горизонтов.

Эти исследования в зависимости от характера изучаемого соляного озера проводятся в большем или меньшем радиусе от него. При этом уместно отметить, что понятие о радиусе в его буквальном значении в данном случае является наименее удачным. Так, если не считать непосредственных окрестностей озера, где поток подземных вод, особенно грунтовых, может быть направлен к озеру со всех сторон, в большинстве случаев участки водоносных горизонтов, в пределах которых может сказываться их связь с соляным озером, имеют форму овала, вытянутого в направлении потока подземных вод. При изучении четвертичного водоносного горизонта, представленного морскими прибрежными, аллювиальными, озерными отложениями, следует учитывать возможность широкого распространения русловых и пойменных отложений, отличающихся гранулометрическим составом, глинистостью и заиленностью, а следовательно, коэффициентами фильтрации и скоростями потока. Очень осторожно следует подходить к определению направления грунтового потока, так как район развития соляных озер может изобиловать древними (ныне погребенными, реже проявляющимися в рельефе) протоками, бывшими руслами и их озеровидными расширениями. Площадные оценки здесь малоприемлемы.

Очень важно из всего периметра приозерной полосы установить пути поступления в озеро основной массы вод и солей из водоносных горизонтов и на них сосредоточить основные работы.

На выбранных направлениях проходятся скважины, желательно по профилям, перпендикулярным к озеру. Заложение единичных скважин может быть оправдано только при поисках более благоприятных направлений. На горизонты или подгоризонты с напорными подземными водами закладываются три-четыре, реже пять скважин (по профилям) с таким расчетом, чтобы водоносный горизонт вскрывался за соровой полосой, в ее пределах и под дном озера, желательно в районе «окон». Скважины используются для проведения обычного комплекса гидрогеологических исследований, включающего изучение грунтов и вод.

Опробование озерных месторождений солей является неотъемлемой частью поисков и разведки и заключается в отборе, обработке и изучении проб полезного ископаемого—твердых солей или рапы.

Важнейшая задача исследователя — разработка и выбор оптимальной системы опробования.

Чаще всего в соляных озерах в качестве полезного ископаемого рассматриваются твердые отложения солей, значительно реже — межкристальная или поверхностная рапа и еще реже — их комплекс. В период поисковых работ твердые соли и рапа обычно опробуются в равной мере. В процессе разведки, как правило, внимание сосредоточивается на опробовании основного полезного ископаемого. Между тем опробование только твердых солей или только рапы на этом этапе недопустимо, так как не позволяет получить полноценную качественную характеристику полезного ископаемого и установить характер и условия перехода солей из одной фазы в другую и обратно. Отбор проб солей производится из всех пройденных на озере поисковых и разведочных выработок.

В зависимости от конкретных особенностей озера число точек опробования поверхностной рапы может изменяться в широких пределах. Если рапа рассматривается в качестве основного полезного ископаемого, число точек опробования должно быть не меньше 50—100. Основная часть точек опробования должна располагаться по правильной сети, равномерно освещающей участки со средними, наибольшими и наименьшими глубинами. Небольшая часть точек отбора проб располагается на прибрежных участках соровой полосы, развития «окон» и мелководья, в приустьевых частях оврагов и речек.

Если межкристальная рапа является основным объектом разведки, пробы ее обычно отбираются из всех скважин, а при высокой выдержанности состава и свойства — по разреженной сети. Пробы солей отбираются послойно, реже интервалами, длина которых, как правило, определяется условиями намечаемой эксплуатации. На стадиях поисков и предварительной разведки желателен отбор проб из всех слоев, отличающихся составом и характером загрязнения (даже при их мощности 10—20 см). На последующих этапах разведки маломощные прослои обычно объединяются в более крупные слои или близкие по мощности интервалы, как правило не превышающие 0,5—1,0 м.

Поверхностная рапа мощностью до 1 м обычно характеризуется одной пробой из средних слоев; при большей ее мощности отбирается в каждой точке по три пробы: из поверхностных, средних и придонных слоев. Пробы межкристальной рапы отбирают послойно, из пластов разного минералогического состава или с интервалом 1—2 м.

Отбор проб солей производится: из скважин колонкового бурения — по керну; из скважин других видов бурения — из

материала, извлекаемого желонкой или стаканом; из шурфов — в виде борозды, сечением, зависящим от величины кристаллов и сростков соли (чаще всего 5x3 или 5x10 см).

В жаркое летнее время, когда температура воздуха поднимается до 40°С в тени, разделка и описание керна, особенно содержащего минералы с кристаллизационной водой, на открытом воздухе крайне нежелательны. Ранее пробы солей упаковывались в стеклянную тару. Сейчас следует признать наиболее удобной тарой полиэтиленовые мешочки и емкости, которые можно плотно закрывать и даже заваривать. Совершенно недопустимо заворачивать пробы в бумагу или хранить их в бумажных пакетах. Обработка проб солей заключается в последовательном измельчении и квартовании их материала в соответствии с формулой Чечетта. Обычно для озерных месторождений коэффициент неравномерности распределения полезного ископаемого *K* находится в пределах 0,1—0,5. Вопросы обработки проб и их представительности изложены в работе В. М. Борзунова [3]. При обработке проб, содержащих неустойчивые, поддающиеся воздействию внешней среды минералы, которые при измельчении проб обезвоживаются, плавятся, разлагаются, приходится применять специальные меры для их сохранения — измельчение под малым давлением, при пониженной температуре, под эфиром и пр., измельчение до сравнительно крупных зерен (до 1—3 мм). Это несколько усложняет работу лаборатории, которой при последующем измельчении и усреднении материала (в условиях, исключающих изменение его состава и свойств) придется перерабатывать большие по объему пробы,, брать большие навески для анализа.

Отбор проб поверхностной рапы по всей площади озера осуществляется одновременно и совмещается с промером глубин. Для этой цели используются пробоотборники различных систем. Отбор проб должен сопровождаться измерением температуры и плотности рапы. Обязательно измеряется температура на глубине отбора пробы. Из скважин пробы межкристальной рапы берут после окончания бурения посредством их отбора с определенных интервалов, чаще всего из различных по составу слоев солей.

Иногда пробы отбираются в процессе бурения, после проходки скважиной очередного пласта соли — галита, тенардита, астраханита, эпсомита, мирабилита. В этом случае производится обсадка стенок скважин трубами до кровли опробуемого пласта. Во многих случаях отбор проб рапы из скважин проводится одновременно с пробной откачкой. Эти пробы более надежно характеризуют состав рапы рассольного горизонта и характер ега изменения по мере откачки на каждом понижении. Большого внимания требуют длительное хранение проб рапы и их транспортировка, особенно при резких колебаниях температуры и понижениях ее ниже нуля.

Иногда при длительном хранении рапа в бутылке расслаивается на несколько слоев с различной плотностью и составом солей.

Места для отбора проб выбираются таким образом, чтобы были отражены как типичные для основной части озера условия, так и наиболее сильно отклоняющиеся от них.

Отбор проб илов и их изучение не имеют и не могут иметь единой методики: она определяется задачами, поставленными перед исследователем, а задачи могут быть разными. При опробовании ила наиболее распространенными исследованиями являются изучение вытяжек и выжимок из него поглощенных оснований; скелетной, тонкодисперсной и коллоидной составляющей, состава легкорастворимых солей в плотном остатке, микрофлоры.

В пробах ила обычно определяется содержание: в водной вытяжке — Mg^{2+}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Cl^-, CO_3^{2-}, HCO_3^- и сухого остатка; в солянокислой вытяжке — Mg^{2+}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, в некоторых случаях Fe_2O_3, иногда S^{2-}, а также нерастворимого в HCl остатка.

Изучение условий питания озера сопровождается опробованием вод поверхностного стока, грунтовых и более глубоких горизонтов подземных вод. Отбор проб воды аналогичен отбору проб поверхностной и межкристальной рапы.

Изучение режима соляного озера должно начинаться еще на стадии поисковых работ. Даже неполный комплекс наблюдений этого периода очень важен, так как он увеличивает длительность изучения водно-солевого режима озера. Изучение режима соляного озера включает: наблюдения за его водно-солевым режимом, выяснение взаимоотношений в нем жидкой и твердой фаз, установление воздействующих на режим озера факторов, наблюдения за испарением и опытные работы. Обычно изучение водно-солевого режима озера сводится к систематическим замерам уровня рапы (уровенный режим), ее температуры (термический режим), плотности, определению химического состава и концентрации в рапе солей (гидрохимический режим). Для рапных озер этот комплекс наблюдений считается достаточным. Наблюдения проводятся ежедневно, раз в три дня, раз в 10 дней и даже раз в месяц. Оптимальная периодичность наблюдений определяется в начальный период изучения озера.

Пробы рапы для химического анализа отбираются один раз в месяц, иногда один раз в 10 дней. Желательно освоение и применение на озерах приборов-самописцев.

При продолжительности наблюдений 2—3 года очень важно, чтобы период наблюдений характеризовался наиболее типичными (по многолетним данным ближайшей метеостанции) климатическими условиями. Если показатели наблюдений в отдельные годы сильно различаются, наблюдения, как правило, следу-

ет продолжить еще 1—2 года. Существенное значение имеет правильное размещение на озере наблюдательных постов.

Целесообразно ограничиться минимальным числом постов, но наблюдения проводить чаще. Наблюдательные посты должны характеризовать как участки с наиболее типичными для всего озера параметрами рапы, так и участки, где она в течение года претерпевает наибольшие изменения. В зависимости от размеров озера и необходимой длительности изучения на нем оборудуются два или четыре основных поста и столько же (или несколько больше) дополнительных постов. Основные посты наблюдения за поверхностной рапой целесообразно совмещать с постами наблюдения за напорными и грунтовыми подземными водами и источниками на берегах озера, с площадками, на которых проводятся опытные работы и наблюдения за испарением.

В озерах, из рапы которых не происходит садки солей, наблюдения за твердой фазой ограничиваются периодическим опробованием и изучением донных илов в разных частях озера — в зонах смещения, концентрирования и т. п.

В рапных озерах с периодически выпадающей новосадкой наблюдают за началом, длительностью и окончанием выпадения каждой соли, за ее составом и характером растворения.

На рапных озерах с донными отложениями солей комплекс наблюдений расширяется в результате систематического изучения состояния межкристальной рапы (наблюдения за ее температурой, плотностью, составом и концентрацией в ней солей).

На «сухих» озерах комплекс наблюдений несколько видоизменяется. Изучение поверхностной рапы ограничивается осенне-зимне-весенним периодом пребывания ее на озере. Соответственно возрастает роль наблюдений и за межкристальной рапой. На крупных или сложных объектах для измерения плотности, температуры, химического состава и концентрации солей в рапе на разных глубинах можно оборудовать не одну, а группу расположенных рядом скважин.

Наиболее интересными и разнообразными могут быть наблюдения за изменением состояния и состава солевых отложений «сухих» озер, в которых рапа находится в наиболее тесном взаимодействии с солями. Изучение всех этих изменений заключается в систематическом отборе проб из одних и тех же слоев на достаточно дробных интервалах.

Изучение соляных озер и проверку их состояния, учитывая незавершенность формирования большинства озер, необходимо повторять в сокращенных объемах через 10—15 лет.

Исследование метеорологических, геоморфологических, гидрогеологических и гидрологических факторов, определяющих условия питания озера, производится в процессе поисковых и разведочных работ. Для правильного суждения о режиме озера, направлении его развития и скорости протекающих в нем про-

цессов необходимо с достаточной степенью приближения определить величину испарения.

Анализы, технологические исследования. Большое место в поисковых, разведочных и исследовательских работах на озерных месторождениях солей занимают аналитические работы, включающие химические анализы, минералого-петрографические исследования, технологические и физико-механические испытания.

Химические анализы. Нередко считают, что химическими анализами в процессе разведки месторождения должны определяться только компоненты, лимитируемые ГОСТом или техническими условиями. Это мнение ошибочно и иногда приводит к неприятным последствиям. Подобная оценка сырья сужает возможности комплексного его использования. В развернутых анализах, на которых основывается промышленная оценка сырья месторождения, как правило, должны быть определены все основные компоненты рапы и солей.

Производство сокращенных анализов допустимо, а иногда и необходимо, для решения тех или иных частных задач, возникающих в ходе разведочных работ, и оправдано только в том случае, если они производятся более быстрыми, простыми и дешевыми методами, чем развернутые анализы.

В пробах, отобранных из пласта галита, требуется прямое определение содержания Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, Cl^-, SO_4^{2-} H_2O, нерастворимого в воде остатка. В тех случаях, когда в пласте имеется значительная примесь гипса (более 2—3%) или глауберита, особенно кристаллического, необходимо определять содержание нерастворимого в HCl остатка, а из солянокислой вытяжки — Ca^{2+} и SO_4^{2-}. Содержание Na^+ большей частью определяется расчетным путем. В ряде случаев это можно признать допустимым, но, как правило, следует определять содержание Na^+ фотопламенным методом одновременно с содержанием K^+. Прямое определение этих катионов увеличивает достоверность всего анализа, позволяет контролировать его суммой содержаний компонентов и дает дополнительные данные о распределении этих катионов в толще соли. Необходимо определять также содержания окиси железа, большей частью связанного с нерастворимыми примесями (из солянокислой вытяжки), в пробах, отобранных по разреженной сети. Учитывая необходимость комплексного изучения сырья, в части проб должно быть определено содержание Br^-, B^{3+}, Sr^{2+} и других микрокомпонентов.

Для характеристики состава и качества пластов сульфатных солей в пробах требуется определять содержания Na+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, кристаллизационной H_2O, нерастворимых в воде и в HCl остатков. При положительной качественной реакции в части проб определяется содержание карбонатов кальция, магния, натрия, а также Br^-, B^{3+}, Sr^{2+}.

В поверхностной и межкристальной рапе определяется содержание Na^+, K^+, Mg^2+, Ca^2+, CO_3^{2-} HCO_3^-, Cl^- SO_4^{2-}, Br^-, а также плотный, или сухой остаток, плотность и температура. В крупных озерах в пробах, отобранных по редкой сети скважин или точек, определяются величины pH и содержания B^{3+}, Sr^{2+}, Li^+

Необходимо подчеркнуть важность правильного определения содержания в солях гигроскопической и кристаллизационной вод. При этом гигроскопическая вода большей частью должна определяться в сульфатных солях или при наличии их в пласте галита, не нагреванием проб до 110° С, а посредством высушивания навески в эксикаторе или термостате при комнатной температуре, не превышающей 20—25° С. Следует учитывать также, что некоторые соли теряют полностью кристаллизационную воду при температурах, превышающих 360—400° С, а при более высокой температуре возможно уже частичное разложение таких солей, как бишофит. Величину pH лучше определять потенциометром непосредственно на месте отбора проб. При низкой величине pH возможен переход железа из окисной в растворимую закисную форму. Поэтому в небольшой части проб рапы надо определить и содержание железа. Если из рапы намечается извлечение брома, необходимо определить содержание в ней сероводорода.

В процессе поисков и разведки отбираются и пробы сильнозагрязненных солей, соленосных пород и илов. Анализ таких проб целесообразно проводить по классической схеме, т. е. с приготовлением из навески испытуемой пробы водяной вытяжки, из оставшегося после нее нерастворимого в воде остатка — солянокислой вытяжки; нерастворимый же в HC1 остаток после спекания его с содой изучается методами силикатного анализа.

В водной вытяжке определяются содержания Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO3-, $CO3^2$-, C1-, SO_4^2~, Br-, B_2O_3 и сумма ионов. В солянокислой вытяжке содержатся Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^2~", Al_2O_3, Fe_2O_3, B_2O_3, щелочей и карбонат-иона, определяемого из отдельной навески. Содержания компонентов выражают в виде ионов, часть — в виде окислов. Щелочи определяются в связи с возможным наличием в породе плохорастворимых солей (полигалита, глауберита, боратов и др.) и некоторых щелочных алюмосиликатов, растворимых в HC1. В нерастворимом в HC1 остатке определяются содержания SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, SrO.

В зависимости от степени загрязнения солей, состава примесей, назначения сырья и испытуемых проб выполняется большая или меньшая часть этого развернутого анализа. Учитывая трудности и нежелательность транспортировки и хранения большого числа проб рапы и солей, желательно большую часть массовых анализов или основных определений их производить в полевой лаборатории, а отправлять в стационарную лабораторию только

небольшую часть проб и подготовленные из проб вытяжки для определения в них таких компонентов, как натрий и калий. Это позволит сократить срок аналитических работ и даст возможность проводить поиски и разведку более целеустремленно, корректировать направление их в ходе полевых работ.

Работа стационарной и полевой лабораторий должна систематически контролироваться за все периоды их работы; в контроль входит не менее 5% проб внутреннего и 5% проб внешнего контроля, выполняемого в лаборатории другой организации, другого геологического управления. При значительной систематической погрешности выполняются арбитражные анализы в лаборатории, на которую соответствующими организациями возложена эта обязанность. Все пробы на контроль передаются в зашифрованном виде. Контролю должны подвергаться анализы в целом, со всеми определявшимися компонентами, так как это позволяет осуществлять дополнительный контроль сопоставлением суммы компонентов.

Результаты химических анализов солей выражаются в ионной форме и в пересчете на солевой состав, в весовых процентах, на основе которого производится вычисление минерального состава солей, что в свою очередь контролируется минералогическими анализами. Пересчет из ионной формы в солевую практически необходим во всех случаях.

Результаты анализов рапы (и воды) также выражаются в ионной форме с пересчетом на вероятный солевой состав, в весовых процентах, в эквивалент процентах, в молях солей на 1000 молей воды, иногда в граммах на килограмм или в граммах на литр.

С порядком пересчета результатов анализа из ионной формы в солевую можно ознакомиться в книге «Методы анализа рассолов и солей» (1964). Увязывание отдельных ионов в соли производится в порядке, отражающем в известной мере последовательность выпадения в осадок солей. При увязке катионов и анионов соблюдается следующий порядок: Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} и Na^{+} последовательно увязываются с SO_4^{2-} в сульфатные соли, а остатки их в такой же последовательности увязываются с Cl~ в хлориды. Схема, приведенная в этой книге, может быть принята для пересчета солей и озерных месторождений. Необходимым дополнением к ней должна быть увязка ионов CO_3^{2-} и HCO_3^{-}, сначала с ионом Ca^{2+}, а при его недостатке — с ионом Mg^{2+}. При избытке иона Ca^{2+}, он, как и предлагается общей схемой, увязывается с ионом SO_4^{2-} в виде $CaSO_4$. Содержание иона HCO_3^{-} в слоях и рапе нередко достигает десятых долей процента, что вносит коррективы в распределение в солях Ca^{2+}.

Место калия в расчетной схеме, если он содержится в значительном количестве, на каждом озере надо определять минералогическими анализами проб (полигалита, сильвина или карналлита).

Минералого-петрографическое изучение озерных солей. Оно решает разные задачи, среди которых можно выделить две основные: 1) установление минерального состава солевых отложений; 2) выявление петрографических, в частности структурных, особенностей слоев, прослоев и линз солей.

Проведение минералогических анализов солей сопряжено со значительными трудностями, связанными с хорошей растворимостью их в воде, этиловом спирте и многих иммерсионных жидкостях, с их гигроскопичностью или обезвоживанием на воздухе, низкой температурой плавления некоторых кристаллогидратов.

Соляные минералы большей частью бесцветны, некоторые из них обладают близкими оптическими свойствами. Среди этих минералов имеются сравнительно устойчивые (галит, астраханит, тенардит и др.) и неустойчивые (мирабилит, карналлит, бишофит, глауберит, в меньшей степени эпсомит и др.). Поэтому одним из решений вопроса может быть отделение неустойчивых минералов от устойчивых на первой же стадии анализа и дальнейшее разделение минералов с близкими оптическими свойствами на фракции по плотности. Такое разделение возможно в тяжелых жидкостях. В выделенных фракциях производится подсчет отдельных минералов под микроскопом в иммерсионных жидкостях.

Петрографические исследования с целью изучения структурных разновидностей соляных минералов, их взаимосвязи, характера срастания, прорастания и замещения, распределения жидких включений также проводятся с применением иммерсионных жидкостей как в стационарной, так и в полевой лабораториях.

Определение объемной массы и физико-механических свойств солей. Проблема правильного определения объемной массы солей в соляных озерах до настоящего времени остается нерешенной. Это связано с трудностями получения ненарушенного образца соли и тем более с добычей целика соли в условиях озера.

Наиболее приемлемым определением объемной массы солей является выемка ее из шурфа с тщательно выровненными стенками и забоем и точный замер мощности ее слоя, из которого извлекается целик. Объем пространства, из которого извлечена соль, тщательно замеряется. Межкристальной рапе, захваченной при выемке соли, дают стечь перед взвешиванием каждого ящика. Из соли в полиэтиленовый мешочек или стеклянную банку отбирается проба для определения естественной влажности. Однако проходка таких шурфов возможна только на «сухих» озерах, когда пласт соли достаточно устойчив.

Для глубоко залегающих слоев соли или солевой залежи, залегающей под слоем рапы, определение объемной массы возможно главным образом в результате бурения скважин и извле-

чения из них керна или материала, образовавшегося при разбуривании пласта непрочной соли.

После извлечения из колонковой трубы столбиков керна с ненарушенной структурой пласта их очищают от измельченного материала, обертывают бумагой (лучше марлей) и парафинируют. Объемная масса породы определяется посредством обычного гидростатического взвешивания керна в воде или в керосине.

Если пласт соли представлен рыхлыми, легко распадающимися на сростки и кристаллы разностями, бурение скважин производится с большими предосторожностями. Для этой цели можно применять забивной стакан, грунтонос. Применяется для этого и желонка с одновременной обсадкой труб, но она дает наименее точные результаты. Диаметр скважин должен быть большим (не менее 127—164 мм).

В зависимости от условий намечаемой разработки соляного озера следует определять физико-механические параметры солевой залежи, связанные с ее несущей способностью, возможностью перемещения по ней различных механизмов, прокладкой рельсовых путей, воздействием на нее различных вибраций, применением режущих орудий.

Технологические исследования. В процессе геологоразведочных работ проводятся разнообразные технологические исследования. К ним относятся лабораторные и полупромышленные испытания, проводимые с целью разработки технологической схемы обогащения и переработки солей и рапы. Испытания проводятся в лабораторных условиях, на опытных установках или на действующих предприятиях. Вопрос об объеме этих исследований, числе и массе проб, необходимости проведения полупромышленных испытаний решает проводящая испытания организация, которая дает оценку технологических свойств сырья и заключение о возможности его использования.

Лабораторные технологические исследования проводятся на пробах, характеризующих типичные, близкие к средним показатели качества и остальных параметров каждой разности солей. Во многих случаях необходимо проводить испытания на пробах с более высоким содержанием примесей, или более низким содержанием основного вещества.

Полупромышленные испытания проводятся на крупных пробах, отобранных из выработок, в которых качественная характеристика соли близка к средним по месторождению показателям. Такие пробы обычно отбираются из одной-двух выработок. Большое значение для отбора проб на технологические испытания и определения их представительности имеет изучение вещественного состава солей по разреженной сети разведочных выработок. Оно включает разделение проб на фракции по величине зерен или кристаллов, изучение химического и минерального состава фракций, их структурных особенностей, характера

распределения основных компонентов и примесей. Это особенно важно для пластов галита — гранатки, намечаемой к разработке солесосом, в которой обычно изучается вещественный состав фракций +10; —10+5; —5+3; —3+1 и —1 мм.

В озерах, где пласт солей покрыт или пропитан рапой, можно применять простейшие способы обогащения, заключающиеся в промывке соли рапой, иногда совмещенной с добычей, что, например, практикуется на солесосах или солекомбайнах.

Технологические исследования в этом случае обычно включают изучение сростков галита — их размерности, характера нерастворимых примесей и распределения их по фракциям, способности галита к дезинтеграции, характера распределения растворимых примесей (в виде кристаллов, включений в кристаллы, пленок на кристаллах), а также определение технологических параметров — оптимальных условий отмывки ила и гипса, соотношения скорости растворения галита и сопутствующих ему растворимых в воде примесей; условий разрыхления новосадки, старосадки и гранатки; необходимой интенсивности промывки рапой и водой. Характер и степень обогащения галита при добыче его солесосом можно определить посредством прямого сопоставления вещественного состава и качества галита в пласте и в соли, отгружаемой с транспортера солесоса в вагоны. Для изучения более глубокого обогащения, включающего промывку соли специальной установкой на берегу озера, приходится отбирать крупную валовую пробу массой до нескольких десятков тонн и исследовать ее на опытной или промышленной обогатительной установке. Аналогичные технологические исследования могут быть применены к пластам мирабилита в разной степени загрязненного нерастворимыми примесями или гипсом.

Изучение основных параметров процесса перекристаллизации сульфатных солей и разработка его технологической схемы обычно производится с использованием изотермических и политермических диаграмм равновесных солевых систем. С их помощью определяются условия получения из растворов солей заданного состава, необходимый термический режим процесса и соотношение в растворе необходимых компонентов. Однако эти расчеты должны быть проверены технологическими испытаниями. Задачей геолога является отбор и доставка технологических проб, представительных не только по химическому и минеральному составу, но и по их физическим и физико-механическим свойствам.

Лабораторные или полупромышленные испытания включают самые разнообразные исследования. Среди них можно отметить: 1) изучение процесса растворения сырья в растворителях разных систем при различной степени его измельчения и разных режимах растворения; 2) изучение условий отделения нерастворимых в воде примесей; 3) изучение процессов смешения рас-

творов различного состава; 4) изучение условии кристаллизации солей, их высаливания, обезвоживания, освобождения от соосаждающихся с ними примесей.

Технологические испытания рапы производятся обычно в тех случаях, когда появляется необходимость в отработке и проверке принципиально новой технологической схемы переработки в аппаратурном оформлении. Для этой цели используется синтетическая рапа, а для окончательной доводки схемы — природная рапа.

Месторождения каменной соли и сульфата натрия

Поиски месторождений ископаемой каменной соли и сульфата натрия. Галит является самым распространенным минералом из легкорастворимых солей. Он присутствует и, как правило, преобладает практически во всех соленосных формациях, образует почти мономинеральные месторождения каменной соли, слагает подстилающие, покрывающие и промежуточные пласты и слои каменной соли в месторождениях калийно-магниевых солей или сульфатов натрия, часто в виде постоянного компонента входит в состав пластов и слоев этих солей.

Поэтому на первом этапе предварительных поисковых работ одной из основных задач является выявление в заданном районе или на заданном расстоянии от будущего предприятия соленосных формаций и выяснение их общего геологического строения и солевого состава. Кроме того, выясняется целесообразность поисков самостоятельных месторождений каменной соли или попутного использования пластов и слоев каменной соли в месторождениях других солей, или получения ее при комплексной переработке пластов этих солей. На этом же этапе предварительно должны быть определены способы добычи соли: горный, главным образом шахтный, способ или метод подземного выщелачивания соли с извлечением на поверхность рассола; от этого зависят параметры месторождения, которое необходимо выявить — глубина залегания и мощность пластов, допустимая степень загрязнения соли и характер примесей в ней, обусловливающий в свою очередь направление поисковых работ. Каменная соль является сравнительно широко распространенным полезным ископаемым и поэтому на значительной части территории Советского Союза можно выбирать лучший из приведенных вариантов. В отличие от нее ископаемые месторождения сульфата натрия или солей, из которых он может быть получен, довольно редки и ограничиваются сравнительно небольшими территориями, перспективными для их выявления.

К настоящему времени накоплен большой материал по распространению и характеристике основных соленосных формаций. Поэтому полевым поисковым работам должна предшест-

вовать проработка литературных и фондовых материалов, работа с геологическими картами, изучение результатов бурения глубоких скважин, составление прогнозных карт. Особое внимание при этом уделяется анализу карт и материалов геологической и гидрогеологической съемок, обычно сопровождающихся бурением глубоких структурных скважин, а также результатам поисково-разведочных работ на нефть и газ, в том числе материалам бурения поисковых, разведочных, структурных, опорных скважин и данным каротажных исследований в них. Пласты каменной соли четко фиксируются на гамма-каротажных диаграммах. Многие месторождения ее были открыты именно на основе бурения таких скважин.

Геологическими предпосылками для выявления месторождений каменной соли и сульфата натрия является наличие условий, благоприятных для образования галогенных, в том числе соленосных, формаций, связанных с засушливыми климатическими условиями, структурно-тектонической обстановкой, длительно действующими и достаточно мощными источниками питания солеродных бассейнов водой и солями.

А. А. Иванов [26] детально разработал поисковые критерии и признаки для нахождения ископаемых месторождений минеральных солей. Они относятся прежде всего к месторождениям каменной соли, а также к месторождениям сульфата натрия. Им выделяются поисковые предпосылки (геоструктурные, стратиграфические, палеогеографические, палеоклиматические); косвенные поисковые признаки (тектонические, литологические, геоморфологические); прямые поисковые признаки (выходы соляных и соленосных пород на поверхность, гидрогеологические, гидрохимические).

К поисковым предпосылкам относится связь соленосных формаций в основном с краевыми прогибами и впадинами, синеклизами платформ, предгорными и межгорными впадинами, С последними наиболее часто связаны и месторождения сульфата натрия. К ним относится и наиболее широкое распространение соленосных отложений в СССР в кембрии, девоне, перми, верхней юре, мелу и неогене, с определенной территориальной приуроченностью их к отдельным регионам. В известной мере ими являются результаты реконструкции палеогеографических условий накопления осадков, границы бассейнов повышенной соленосности, а также палеоклиматические условия и расположение аридных зон.

Косвенными поисковыми признаками являются купольные и усложненные брахиантиклинальные структуры, образовавшиеся в результате воздействия соляной тектоники на вмещающие породы и указывающие на наличие в недрах толщ солей. О возможном наличии толщ солей могут свидетельствовать фации бассейнов повышенной соленосности — ангидритов, гипсов, доломитов, засоленных глинистых пород, проявление целестиновой

минерализации, характерной для подстилающих, покрывающих соляные отложения пород, а также краевых частей солеродных бассейнов. Особое место занимают гипсовые и глинисто-гипсовые шляпы, характерные для соляных куполов. Геоморфологическими признаками учитывается проявление на поверхности земли специфических тектонических структур, особенности которых обусловлены участием в их образовании соляной тектоники, пластических перемещений каменной соли, а также соляного и гипсово-соляного карста. Необходимо отметить, что косвенные поисковые признаки можно рассматривать как показания на возможное наличие месторождений солей, но во многих случаях они могут быть результатом и других явлений или выражать проявления галогенных формаций, не заключающих мощных пластов солей. Несмотря на это, пренебрегать ими не следует.

Прямые поисковые признаки наиболее надежны, но проявляются они сравнительно редко. К ним относятся выходы соляных и соленосных пород на поверхность, которые возможны и вероятны главным образом в районах с аридными климатическими условиями и в горных районах с расчлененным рельефом, например в Средней Азии и Казахстане, на Кавказе и в Закавказье, а также в северных районах с холодным, но сухим климатом, например в Якутии и на Крайнем Севере. Возможны выходы солей на поверхность и в районах со сравнительно влажным климатом, если они связаны с солянокупольными структурами, достигающими поверхности земли и компенсирующими своим ростом размыв солей, например отдельные купола в Прикаспийской впадине, Солотвинская структура в Закарпатье и др. Такие выходы указывают на возможное наличие в районе и других солянокупольных структур, не достигающих поверхности земли.

Прямыми поисковыми признаками являются и гидрохимические, свидетельствующие о наличии в недрах соленосных и соляных пород. К ним относятся источники с повышенной минерализацией воды, вскрываемые скважинами или колодцами соленые подземные воды и рассолы, повышенная минерализация вод озер, рек и речек за счет разгрузки в них рассолов или соленых подземных вод. При этом необходимо учитывать, что такое повышение минерализации вод и даже наличие соленых вод и рассолов возможно и при выщелачивании соленосных отложений, засоленных глин, гипсов и ангидритов, не заключающих пластов солей. Так, например в Ярославской и Костромской областях, где соленые воды, на которых в прошлые столетия работали солеварки, добывались с небольшой глубины и выходили на поверхность в виде соленых источников, образуются в результате выщелачивания рассеянного галита из нижне- и верхнепермских отложений, представленных засоленными глинами, гипсами и ангидритами. Повышение минерализации приповерхностных вод возможно и в результате разгрузки глубинных соленых вод и рассолов, не связанных с конкретными отложения-

ми солей. Поэтому даже прямые поисковые признаки необходимо использовать с учетом структурно-тектонической обстановки, других прямых и косвенных признаков и геологических предпосылок.

Эти геологические предпосылки и поисковые признаки наличия в недрах соленосных отложений при поисках месторождений каменной соли с невысоким или незначительным содержанием нерастворимых примесей и с минимальным содержанием таких растворимых вредных примесей, как хлориды и сульфаты магния, калия, кальция, а также сульфата натрия, должны дополняться более глубоким анализом признаков, которые могут указывать на характер и степень загрязнения примесями пластов каменной соли, их мощность, перемежаемость их с пластами несоляных пород или других солей.

Так, наличие мощных толщ каменной соли по данным каротажа глубоких скважин разного назначения иногда подтверждается анализами образцов керна, по которым можно судить о степени ее загрязнения. На диаграммах гамма-каротажа нередко четко фиксируются прослои глин или слои сильнозагрязненные глинистым материалом или солями калия. Нейтронный каротаж фиксирует прослои карналлита, бишофита и других солей-кристаллогидратов. Они отражаются и на диаграммах кавернометрии.

Данные о возможном наличии мощных толщ каменной соли и характере ее загрязнения могут быть получены из детального анализа общегеологического строения соленосной формации и ее связей с вмещающими породами. Например, наиболее мощные толщи соли обычно образуются в конседиментационно прогибающихся впадинах и прогибах; степень загрязненности этих толщ терригенным материалом обусловливается близостью к берегам солеродного бассейна, характером сноса и составом материала, а загрязненность другими легкорастворимыми солями — условиями питания бассейна, завершенностью циклов соленакопления и т. д. Данные могут быть получены и детальным анализом стратиграфической, палеогеографической и палеоклиматической приуроченности соленосной формации. На них указывают химический состав минерализованных подземных вод и источников, а также соотношения в этих водах основных катионов и анионов, например магния, калия, а также брома и хлора, подробно рассмотренные М. Г. Валяшко и др. [7], А. А. Ивановым [26]. Весьма интересные данные могут быть получены при изучении материалов гидрохимической съемки в районах распространения соляных куполов (например, в Прикаспии) и в гористых районах (например, в Средней Азии), особенно для поисков месторождений сульфата натрия.

Общие поиски проводятся в пределах больших территорий и крупных геологических структур с желательным охватом соленосных формаций и солеродных бассейнов в целом и могут рас-

сматриваться как переходный этап от геологической съемки в масштабах 1:200 000 или 1:50 000 к поискам конкретных месторождений. Их основной задачей должно быть выявление отложений каменной соли или сульфата натрия, границ их распространения, характера и ориентировочной степени загрязнения, а для сульфата натрия и основных минеральных форм (тенардита, мирабилита, астраханита, глауберита), определение взаимосвязей с вмещающими породами, особенностей данной соленосной формации.

На стадии поисков месторождений каменной соли в ряде случаев этап общих поисков может быть пропущен или полностью заменен предполевой камеральной обработкой имеющихся фактических материалов. Это объясняется большим объемом уже имеющихся предварительных сведений о соленосных формациях и солеродных бассейнах, а также весьма большими размерами этих бассейнов, площади которых часто достигают десятков и даже сотен тысяч квадратных километров. Этот этап необходим главным образом при проведении работ в малоизученных районах, где солепроявления еще не установлены или геологическое строение которых, а следовательно, и галогенных формаций очень сложно, или там, где толщи соли могут залегать на больших глубинах, не отражены геологической съемкой и образуют соляные брахиантиклинали или солянокупольные структуры. В то же время, начиная с общих поисков и на последующих этапах или подстадиях поисков, в основную задачу входит выявление месторождений каменной соли с минимальным количеством разного рода примесей, пригодной для использования в твердом виде или в виде рассолов, в природном состоянии или после сравнительно несложного и недорогого обогащения. Это связано с тем, что поваренная соль — продукт сравнительно дешевый, и сложные условия ее добычи или необходимость глубокого обогащения могут сделать эксплуатацию месторождения нерентабельной.

Иное положение с сульфатом натрия. Соленосные формации, заключающие соли и пригодные для его получения, встречаются сравнительно редко, на ограниченных территориях и большей частью невелики по размерам. Поэтому этап общих лоисков необходим почти во всех случаях; как правило, он включает обследование соленосной формации в целом, а также установление ее связи с вмещающими породами и источниками сульфатных солей.

Методы общих поисков, применяемые для решения перечисленных задач, многообразны и в значительной мере зависят от предполагаемых типов солеродных бассейнов и соленосных формаций, а также от природных условий района. При поисках используют в основном геологические карты масштаба 1 : 200 000, сравнительно редко — 1 : 50 000.

Маршрутное обследование местности при поисках месторождений каменной соли и сульфатов натрия имеет ограниченное применение, главным образом в гористых и предгорных районах сравнительно молодой складчатости, где возможны выходы на поверхность соленосных пород и источников с повышенной в результате размыва этих пород минерализацией вод. В равнинных местностях вероятность встречи таких проявлений очень мала, коренные породы прикрыты мощным чехлом четвертичных отложений, маршруты проводятся в меньшем числе, по более редкой сети. Основное назначение их сводится к выявлению в основном косвенных признаков соленосных пород вообще, и проявлений каменной соли в частности. К ним относятся признаки карстования соленосных пород, выходы глинисто-гипсовых шляп или других остаточных пород, характер минерализации вод, источников, ручьев, речек и колодцев. Известную роль могут играть геоботанические исследования растительного покрова — по распространению растений галофитов иногда обнаруживается разгрузка соленых вод в горизонт грунтовых вод. В некоторых районах необходимо проводить гидрохимическую съемку, основу которой должно составить обследование как поверхностных, так и подземных водотоков, в основном грунтовых вод.

В общих поисках должны широко использоваться геофизические методы, прежде всего методы, связанные с площадным обследованием и выявлением геофизических аномалий, которые могут быть связаны с толщами солей. Гравиметрическим методом выявляются аномалии силы тяжести, положительные и отрицательные, которые могут быть связаны с геологическими телами повышенной или пониженной плотности. К первым можно отнести толщу ангидритов (плотность около 2,9 г/см^3), ко вторым — каменную соль (плотность 2,10—2,15 г/см^3). Вмещающие их песчано-глинистые породы имеют плотность 2,3—2,4 г/см^3, карбонатные породы 2,5—2,7 г/см^3. Отрицательные аномалии силы тяжести могут указывать на возможное наличие отложений каменной соли или соляные поднятия брахиантиклинального типа на площади распространения соляных отложений. Положительные аномалии обычно интерпретируются как показатель отсутствия соляных отложений или значительного погружения их кровли. Этот метод дает хорошие результаты и при выявлении солянокупольных структур, отличающихся от плотности окружающих пород и характеризующихся почти одинаковой плотностью на большую глубину.

Из электрических методов наибольшее применение нашел метод вертикального зондирования (ВЭЗ), позволяющий определить распространение толщи соли, глубину ее залегания, рельеф кровли и общую структуру. Он основан на очень большом удельном электросопротивлении соляных пород по сравнению с другими породами и на незначительном — пород, содержащих

минерализованные воды. Используется также метод теллурических токов, четко фиксирующий форму солевых залежей и отображающий детали поверхности толщи соли на сводах структур. При поисках солей используются и сейсмические методы, основанные на различиях упругих свойств горных пород: метод отраженных волн, корреляционный метод преломленных волн, метод регулируемого направленного приема и др.

Толщи каменной соли, особенно с минимальным содержанием примесей, отличаются пониженной естественной радиоактивностью, поэтому при их поисках можно использовать радиометрические методы. Они дают отрицательные аномалии, выражающиеся в более низкой интенсивности гамма- и бета-излучения толщи каменной соли по сравнению с общим фоном вмещающих пород. Для этой цели могут применяться автомобильные и пешеходные гамма-съемки, а также аэрорадиометрические съемки.

При выборе расстояний между маршрутами и точками наблюдений руководствуются разрешающей способностью соответствующей геофизической аппаратуры, а в районах с соляными куполами — и размерами в плане, во избежание их пропуска. В последнем случае эти расстояния могут сокращаться до 1 км между маршрутами и достигать 0,5—1,0 км между точками. На крупных залежах солей эти расстояния могут увеличиваться соответственно до 20 км и достигать 5—10 км. В горных и предгорных районах, где возможны выходы соленосных пород на поверхность расстояния сокращаются также до 1 км. Тогда в точках наблюдения кроме фиксации проявлений соленосности иногда приходится производить расчистки, проходить шурфы и даже отбирать пробы пород для последующего изучения их химического и минерального состава, а также петрографических особенностей.

Большая глубина, на которой часто залегают соленосные отложения, сохранность их в тех местах, где они прикрыты достаточно мощной толщей малопроницаемых для подземных вод пород, обусловливают необходимость еще на стадии поисков вскрытия толщ солей скважинами, по результатам бурения которых может быть получена наиболее полная информация о строении и составе толщи солей, разумеется, при условии получения достаточно высокого выхода керна и проведения комплекса каротажных геофизических исследований. Однако из-за сложности бурения глубоких скважин и опасности обводнения толщи солей число поисковых скважин обычно жестко ограничивается, и на этапе общих поисков бурится не более одной-пяти скважин в зависимости от размеров соленосной формации, глубины залегания и сложности геологического ее строения, возможных масштабов добычи соли и основного назначения работ. Характер опробования скважин на разных этапах поисков почти одинаков и будет описан ниже.

В результате общих поисков выявляется соленосная формация или ее часть, в пределах которой предположительно имеются или точно установлены проявления каменной соли или сульфата натрия, по качеству и условиям залегания ориентировочно пригодные для заданого назначения; устанавливаются связи формации и проявлений солей с геологической структурой и вмещающими породами; определяется или уточняется генетический тип формации, предполагаемые и выясненные контуры ее распространения и даются рекомендации по проведению детальных поисков или поисково-оценочных работ на наиболее перспективных участках.

Детальные поиски проводятся на площадях соленосных формаций, перспективность которых для дальнейшего изучения выяснена общими поисками или предполевыми камеральными работами, а проявления каменной соли или сульфата натрия еще не выявлены или обнаружены единичными скважинами; пригодность же их для заданного назначения по качеству и условиям залегания солей определена по косвенным признакам. Основными задачами детальных поисков являются установление отложений каменной соли или сульфатов натрия по главным показателям и параметрам, пригодным для намеченных областей их использования, ориентировочных границ их распространения, а также детализация связей их с геологическими структурами, возможными источниками питания и загрязнения солей в солеродном бассейне.

Детальные поиски с дневной поверхности проводятся теми же методами, что и общие поиски с широким привлечением геофизических и геохимических исследований. Значительно большее место на этой подстадии, особенно для глубокозалегающих соленосных отложений, должно занимать вскрытие их скважинами, число которых по сравнению с предыдущей подстадией увеличивается в несколько раз. При этом, однако, каждая скважина задается только на основе тщательного анализа геологических, геохимических и геофизических данных, которыми определяется и место ее заложения. Документация и опробование скважин осуществляются так же, как и на этапе предварительных поисков, но значительно большее место в них должно уделяться увязке пластов солей и соленосных отложений между скважинами, изменению мощностей пластов и слоев, содержанию основных компонентов, геохимическому анализу солей и вмещающих соли пород не только по основным, но и по микрокомпонентам с целью установления направления и путей их миграции в солеродный бассейн и в его пределах. Увеличивается объем и детальность геофизических каротажных исследований в скважинах с тем, чтобы во вскрытой соленосной толще выявить также характер и взаимоотношения тел солей разного состава, различной степени загрязнения и несолевых пород. На этой подстадии следует стремиться расположить

скважины, пересекающие соленосную толщу, таким образом, чтобы они характеризовали всю или значительную часть соленосной формации, включающую как ее центральные, так и краевые части, что даст возможность судить о закономерностях соленакопления в ее пределах и характере распределения более чистых и сильнозагрязненных разностей солей, о мощности толщ соли и несолевых пород, а также о положении перспективных для дальнейшего изучения участков. Неоправданное сгущение скважин только на одном участке уменьшает общую изученность формации и часто приводит к недостаточно обоснованному выбору участков для разведки.

По результатам детальных поисков дается оценка перспектив всей исследованной площади соленосной формации, определяются прогнозные запасы и даются рекомендации по проведению поисково-оценочных работ на площадях, перспективных для первоочередного более детального обследования.

Поисково-оценочные работы производятся на основе предварительных и детальных поисков, а иногда и непосредственно — предполевых камеральных работ, если проявления каменной соли в данном районе ранее уже были известны, вскрыты скважинами, пробуренными для других целей, и в какой-то мере охарактеризованы. Эти работы проводятся на участках с выявленными отложениями солей, основными задачами которых являются подготовка и обоснование выбора месторождения или участка с отложениями каменной соли для предварительной разведки, а также отбраковка площадей и участков, не имеющих промышленного значения или не представляющих промышленного интереса в настоящее время.

Основное внимание при этом сосредоточивается на более подробном изучении перспективных площадей и участков, однако полученные при этом сведения должны быть использованы для общей характеристики всей соленосной формации и солеродного бассейна и выявления общих закономерностей их, а также прогноза наличия перспективных площадей за пределами ранее выявленных участков.

Для поисково-оценочных работ используется весь комплекс структурно-геологических, геохимических, гидрохимических и геофизических исследований площадей с поверхности. Учитывая расположение толщ солей, как правило, на глубинах в десятки, сотни и тысячи метров, часто большую их мощность, значительную площадь, занимаемую соленосными формациями (от десятков и сотен до многих тысяч квадратных километров), а также обычно плохую обнаженность этих толщ, главную роль на подстадии поисково-оценочных и на всех последующих стадиях геологоразведочных работ играют буровые скважины, с помощью которых получают основную информацию о внутреннем строении соленосных формаций и толщ каменной соли, о качественной и технологической характеристике полезного ископае-

мого и ее изменениях в плане и разрезе. Даже на месторождениях солей, имеющих выходы на дневную поверхность, где в небольших объемах можно использовать горные выработки, роль буровых скважин для изучения толщи солей на глубине почти не уменьшается.

На подстадии поисково-оценочных работ от единичных скважин, заложенных для решения самостоятельных задач или проверки суммы косвенных данных, переходят по возможности к равномерному расположению скважин, обеспечивающему более полное выявление закономерностей распределения основных параметров толщи полезного ископаемого в разрезе и плане. Однако обоснование как взаимного расположения скважин, так и места закладки каждой из них остается столь же необходимым. Требуются также тщательный тампонаж и ликвидация каждой поисковой скважины.

Методика поисково-оценочных работ неодинакова для разных генетических и промышленных типов месторождений каменной соли. Наиболее велики эти различия для пологозалегающих пластовых залежей каменной соли и залежей, связанных с брахиантиклинальными и солянокупольными структурами. Прежде всего они относятся к возможности и характеру использования буровых скважин. На пологозалегающих и даже многих крутопадающих (на крыльях антиклиналей или синклиналей) залежах каменной соли допустима закладка сравнительно большого числа скважин, вскрывающих и пересекающих толщу полезного ископаемого, при значительных расстояниях между ними, дающая возможность установить характер изменчивости залежи и каменной соли в ней. В краевых частях залежи и за ее пределами бурятся только одиночные скважины, играющие вспомогательную роль, как и значительная часть площадных геофизических и гидрохимических исследований. Большое значение при этом имеет правильный выбор глубин скважин. Следует признать ошибочным часто применявшееся положение, что глубина поисковых скважин не должна превышать обусловленной заданием глубины разработки выявленного месторождения. Она должна обосновываться для каждой скважины и определяться возможным техническим пределом разработки таких месторождений, необходимостью получения опробованного разреза соленосной толщи в заданной точке для выяснения геологической структуры залежи, даже если она впоследствии не будет включена в площадь разведки по глубине. В настоящее время предельными глубинами шахтной разработки каменной соли считаются 800—1000 м, разработки ее методами подземного выщелачивания — до 2000 м.

На брахиантиклинальных и особенно солянокупольных структурах, обычно в плане (на доступных для разработки глубинах) имеющих небольшие площади (при крутом, часто почти вертикальном падении слоев и пластов соли, осложненных со-

ляной тектоникой) и тектонические контакты с вмещающими породами, роль скважин существенно иная, а площадные геофизические и гидрохимические исследования имеют большое значение. Бурение скважин в пределах купола должно быть строго ограничено единичными скважинами из-за опасности катастрофического обводнения будущего рудника и больших потерь соли в целиках. К тому же и эффективность этих скважин низкая: даже при самых благоприятных условиях они могут охарактеризовать очень небольшую часть разреза толщи каменной соли и дать о ней только самое общее представление. Это заставляет предъявлять особо строгие требования к определению места заложения каждой скважины, угла ее наклона, конструкции и ликвидационному тампонажу, а также к получению благодаря ей максимально возможного объема информации. Даже на очень крупных структурах площадью в несколько десятков квадратных километров на стадии поисков допустимо бурение только единичных скважин (до 5). Невысока эффективность и так называемых картировочных скважин, которые обычно бурятся до зеркала соли, углубляются в толщу последней на 15—20 м и могут быть в большом числе. Эффективность их, как и более глубоких скважин, может быть существенно повышена, если использовать уже имеющиеся данные о строении и тектонике отдельных солянокупольных структур (Соль-Илецкой, Индерской, Челкарской, Эльтонской, Солотвинской и др.), а также результаты площадных и каротажных геофизических, геохимических и гидрохимических исследований, для которых эти скважины служат эталонными и проверочными.

Более широко скважины могут использоваться для уточнения границ солянокупольных структур с поверхности на глубину, характера контактов их с вмещающими породами, бокового воздействия на соль вод водоносных горизонтов, заключенных в породах, вмещающих солянокупольную структуру, по всему ее периметру. Так, на Соль-Илецком куполе для этих целей было пробурено более 70 скважин, с помощью которых были выявлены водоносные горизонты, наиболее агрессивно воздействующие на соли купола, образующие на отдельных участках периметра его глубокие врезы и карнизы, главным образом там, где подземные воды этих горизонтов подходят к куполу и обтекают его. По потоку подземных вод наблюдаются шлейфы вод с повышенной минерализацией. Очевидно, изучение минерализации и состава растворенных солей подземных вод водоносных горизонтов выше и ниже купола по их потоку может дать значительную информацию и о составе размываемых солей купола, и об интенсивности процессов размыва, а также выделить наиболее размывоопасные участки периметра купола на разной глубине. Очень важно сочетание и совместное использование этих скважин с геофизическими и гидрохимическими исследованиями.

Для определения положения и границ солянокупольной структуры рекомендуется пользоваться гравиметрическими, сейсмометрическими, электрометрическими и радиометрическими методами, успешно применявшимися в Прикаспийской синеклизе и в Днепровско-Донецкой впадине.

Крутое падение слоев внутри солянокупольной структуры обусловливает выходы на соляное зеркало различных горизонтов солей разного состава и несолевых пород, представляющих значительную часть разреза соленосных отложений и отражающих характер складкообразования соленосных пород в самой структуре. Они обычно проектируются сохраняющимися от растворения нерастворимыми составляющими в породы кепрока, изучение которых является важной частью поисково-оценочных работ. Большое значение в связи с этим имеют геохимические и гидрохимические исследования соляного зеркала и кепрока, в частности акцессорных минералов и элементов, по данным скважин. Весьма важны и геофизические исследования как каротажные, так и площадные, в частности радиометрические.

Необходимо подчеркнуть, что и для пластовых, и для пластово-линзообразных залежей каменной соли большое значение имеет выявление характера контактов солей с вмещающими породами, интенсивности растворения соляной толщи близ этих контактов, возможного карстования ее и неравномерного выноса солей разного состава. Горизонтально и полого залегающие залежи обычно разрушаются очень медленно и главным образом в краевых частях, поэтому следы разрушения с трудом улавливаются применяемыми методами поисков и разведки. Однако даже при небольших антиклинальных поднятиях соленосных толщ или флексурных перегибов их процессы растворения, разрушения и карстования соли резко усиливаются и могут оказывать крайне неблагоприятное воздействие на эксплуатацию. Так, например, на Артемовском месторождении каменной соли Подбрянцевский, Брянцевский и Надбрянцевский пласты в краевых частях их выходов под более молодые породы интенсивно разрушаются, образуя на выходах полосы интенсивно закарстованных, сильнообводненных соляных пород шириной 1 —1,5 км; зона эта постепенно перемещается. Некоторые старые шахты, заложенные до выяснения этого явления, уже оказались в этой зоне.

Это обстоятельство требует, начиная с подстадии поисково-оценочных работ, для каждой скважины, входящей в соленосную толщу или пересекающей ее, тщательно изучать контакты с покрывающими соль породами, разрез несолевых пород, минерализацию подземных вод на соляном зеркале и в вышележащих породах, состав растворенных солей и дебиты скважин, характеризующие интенсивность растворения солей, а косвенно и состав солей прилегающих частей соленосной толщи. Наряду

со скважинами для этих целей следует использовать геофизические и особенно гидрохимические методы.

На пластовых и пластово-линзообразных залежах солей скважины обычно располагаются профилями вкрест простирания солевой залежи или геологической структуры, реже они размещаются по квадратной сети. Расстояния между скважинами на поисковой стадии нельзя строго регламентировать. Они могут быть различными не только для месторождений одного типа, но и в разных частях одного месторождения в зависимости от геологического строения солевой залежи, выдержанности качества соли, конкретных задач, решаемых с помощью скважин.

Горные выработки при проведении поисково-оценочных работ используются редко, главным образом на выходах соленосных пород на поверхность, для непосредственного вскрытия солей или изучения элювиальных образований, оставшихся после их растворения. Это чаще всего расчистки и канавы, мелкие шурфы, реже глубокие шурфы и штольни. Они, в частности, могут быть очень полезными при изучении геохимического разреза третичной соленосной формации Средней Азии, нередко имеющей крутое падение слоев, обнажающихся на поверхности, представленных глауберитом, тенардитом и другими сульфатными солями, которые могут рассматриваться как источник сульфата натрия, а также пластами галита. Здесь же нередки выходы солей верхнеюрского и нижнемелового возраста, представленных галитом, а изредка и калийными солями. Канавы и шурфы обычно закладываются вкрест простирания структур и выходов пластов на поверхность.

Все данные и результаты поисково-оценочных работ для пластово-линзообразных залежей солей, занимающих большие площади, наносятся на геолого-литологические и гидрогеологические карты масштаба 1:5000 и 1:200 000. Для залежей солей, располагающихся на сравнительно небольших площадях, используют карты масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000.

Все проявления солей на выходах и в скважинах должны быть тщательно и детально задокументированы и опробованы. Кроме того опробуются несолевые породы, а также рассолы и воды, встреченные при проходке скважин и других выработок; отбираются образцы для минералого-петрографических исследований, а на залежах сульфатных солей отбираются пробы для простейших технологических исследований, которыми определяется возможность и экономическая целесообразность получения из этих солей сульфата натрия. Характер опробования аналитических работ на этом этапе близок по методике, определяемым компонентам и технике исполнения к работам, выполняемым на стадии предварительной разведки, и будет описан ниже.

Результатом поисково-оценочных работ по объектам, рекомендуемым для проведения на них предварительной разведки, является: 1) определение (ориентировочно) генетического и промышленного типов, а также общих контуров месторождения, отдельных залежей и пластов, геологического разреза месторождения с ориентировочной увязкой пластов и слоев, которые могут представить промышленную ценность; 2) выполнение подсчета запасов по категории C_2 на площади, рекомендуемой для предварительной разведки, и прогнозных запасов на других перспективных площадях; 3) получение предварительных данных по вещественному составу и качеству каменной соли или сульфата натрия; 4) определение попутных компонентов; 5) приведение предварительных данных и рекомендаций по технологическим особенностям полезного ископаемого, а также характеристики гидрогеологических и инженерно-геологических условий эксплуатации; 6) наличие рекомендаций по методике предварительной разведки.

Предварительная разведка месторождений каменной соли проводится на месторождениях и их участках, выбранных на основе поисково-оценочных работ. Основными задачами ее являются: выявление геологического строения месторождения, количества, качества, технологических свойств каменной соли, а также горнотехнических условий эксплуатации перспективных участков в объемах, достаточных для предварительной геолого-экономической оценки, определения возможных масштабов добычи каменной соли или рассолов и решения вопроса о сроках освоения и перехода к детальной разведке.

Необходимой задачей предварительной разведки является выяснение основных факторов, определяющих методику детальной разведки, с целью установления наиболее рационального расположения разведочных выработок, расстояний между ними, способов и технологии бурения скважин, глубины разведки, рациональной методики опробования, требуемого объема технологических, гидрогеологических и других исследований.

Методика предварительной разведки месторождений каменной соли может существенно видоизменяться в зависимости от характера соленосной формации, генетического и промышленного типов месторождения, размеров, глубины, условий залегания и внутреннего строения солевой залежи. Исходя из особенностей месторождений изменяются и основные задачи предварительной разведки и пути их решения.

Так, на месторождениях, приуроченных к крупным соленосным формациям, с мощными пластами каменной соли, залегающими почти горизонтально и не осложненными соляной тектоникой, основной задачей становится выявление и обследование площадей, наиболее перспективных по качеству каменной соли, мощности и глубине залегания пластов, по транспортным условиям и другим факторам, благоприятным для строительства гор-

нодобывающего, а иногда и перерабатывающего соль предприятия. Это может относиться, например, к основным кембрийским соленосным формациям Иркутского амфитеатра, девонского Подмосковного, значительной части Среднеазиатского верхнеюрского бассейна и др.

Для месторождений, в которых чередуются относительно чистые слои, линзы и прослои каменной соли с сильнозагрязненными примесями, слоями или линзами, основной задачей становится выявление участков с менее загрязненной солью, требующее обследования и проверки предварительной разведкой значительно больших, чем в первом случае, площадей, как, например, на Канарайском месторождении в Иркутской области, Неграмском месторождении в Азербайджане, Сарыкольском месторождении в Казахстане и др.

Для месторождений со сложными условиями залегания каменной соли, осложненных соляной тектоникой, основной задачей становится выявление границ распространения, внутреннего строения толщи каменной соли, закономерностей распределения в ней основных и вредных компонентов, изучение гидрогеологических и горнотехнических условий разработки (Илецкое, Солотвинское, Яр-Бишкадакское и другие месторождения).

Расположение выработок и плотность разведочной сети определяются применительно к особенностям каждого месторождения и Е связи с основными задачами его предварительной разведки. Предпочтение отдается правильной сети, в зависимости от условий залегания каменной соли квадратной или прямоугольной или представляющей собой ряд сравнительно редких профилей с расстояниями между скважинами на линиях, обеспечивающими получение перекрытого разреза, детальное изучение вкрест наибольших изменений, строения толщи соли, контактов или покрывающих пород. Наряду с этим проходятся и одиночные выработки вне сети для выяснения тех или иных деталей строения или других особенностей полезной толщи, но при соответствующем геологическом обосновании. Необходимо подчеркнуть особое значение для месторождений каменной соли последовательности в расположении поисковых и разведочных выработок, начиная с подстадии поисково-оценочных работ, на стадиях предварительной и детальной разведки и вплоть до эксплуатации: нарушение последовательности обычно вызывает увеличение потерь соли в целиках и усиливает опасность затопления будущего рудника. Так, например, эксплуатационные скважины для подземного выщелачивания обычно располагаются по сети 200x200 м, длина и ширина панелей при камерной системе разработки чаще всего принимается равной 300 или 400 м. Следовательно, разведочная сеть должна учитывать как эти расстояния, так и радиусы целиков вокруг разведочных скважин, в зависимости от сложности геологического строения изменяющиеся от 25 до 50 м.

По результатам предварительной разведки, на площадях, рекомендуемых для производства детальной разведки, запасы солей разведуются с детальностью, неоходимой для отнесения их к категории C_1 на других перспективных площадях они подсчитываются по категории C_2 и как прогнозные. Предварительная разведка нередко проводится в два этапа. На первом этапе редкой сетью скважин обследуются площади, рекомендованные для дальнейшего изучения по результатам поисково-оценочных работ, на втором — на наиболее перспективных участках сеть скважин сгущается и они изучаются с детальностью соответствующей категории C_1 Плотность сети в зависимости от типа месторождения изменяется от 1800—2000 м на сравнительно выдержанных пластовых и пластово-линзообразных месторождениях до 1200 и даже до 800 м на линзообразных, тектонически сложных и солянокупольных месторождениях. На трех последних квадратная сеть обычно нецелесообразна; более приемлемо расположение скважин по профилям иногда с более значительными расстояними, чем приведенные выше, но со сгущением их на линиях. На солянокупольных структурах основная часть скважин может располагаться на пограничных участках или углубляться в соль ниже соляного зеркала на 15—20 м. На самом куполе проходят только единичные разведочные скважины, пересекающие толщу соли на большую глубину (до 2 тыс. м) и являющиеся структурными. Иногда для пересечения большей части разреза эти скважины закладывают наклонными.

Основным видом разведочных выработок на месторождениях каменной соли являются скважины колонкового бурения, позволяющие получать столбик ненарушенного или слабонарушенного керна, проводить комплекс всех необходимых каротажных работ и получать сравнительно много материала, пригодного для широкого диапазона исследований: определения химического, минерального, вещественного состава, изучения литолого-петрографических особенностей, физико-механических свойств и т. п.

Учитывая трудности проходки, значительную глубину разведочных скважин на соли и крайнюю нежелательность сгущения сети, от каждой скважины необходимо получить максимальную достаточно достоверную информацию, что возможно только при тщательно разработанной конструкции скважин, технике и технологии бурения, обеспечивающих высокий выход минимально нарушенного керна.

Отсутствие избирательного растворения или размыва керна необходимо проверить при бурении первых же скважин путем тщательных и детальных каротажных исследований. На кривых ГК при достаточно крупном их масштабе хорошо фиксируются прослои калийных солей, глинистых и других несолевых пород, слои соли, загрязненные примесями; на кривых НГК — прослои

водосодержащих солей, на кривых кавернометрии — увеличение диаметра полостей при проходке легкорастворимых солей.

Необходимо изменить существующую практику использования довольно глубоких разведочных скважин и извлекаемого из них керна для получения минимального объема информации, главным образом для проведения неполных, даже сокращенных химических анализов и схематичного описания керна. Практически скважина, учитывая высокую стоимость ее бурения, невозможность сгущения сети, возросшие требования к качеству соли и все более широкое применение ее обогащения и очистки от загрязняющих примесей, требующие выяснения большого числа дополнительных параметров, должна служить полноценным источником разносторонней информации о месторождении. По каждой скважине в результате использования керна и применения геофизических методов разведки должны быть получены детальные сведения о химическом, минеральном, вещественном составе соли и ее основных примесей, о физико-механических, физико-химических и технологических свойствах соли и вмещающих ее пород, о структуре и текстуре, условиях ее залегания в объемах, позволяющих всесторонне охарактеризовать ее в данной точке и обеспечить выявление закономерностей изменения ее параметров и свойств по участку разведки и месторождений в целом.

Для этой цели применительно к конкретному месторождению, подбирается комплекс каротажных и площадных геофизических методов разведки.

Большое внимание должно уделяться при бурении разведочных скважин промывочной жидкости. Она должна быть насыщена хлористым натрием, а при обнаружении следов избирательного растворения солей или размывающихся их прослоев насыщена и относительно хлористого калия, а иногда и магния. Необходим систематический контроль за составом промывочного рассола.

На стадии предварительной разведки (главным образом, по керну) изучают технологические свойства соли по программе и в объемах, позволяющих решить вопрос о возможности ее промышленного использования, обоснованно выбрать промышленные методы ее добычи, обогащения и переработки. Эти исследования проводят обычно в лабораторных условиях. При разработке соли методами подземного выщелачивания определяют скорость и характер растворения основных разностей соли, выбирают оптимальные методы ее очистки от нерастворимых и растворимых примесей, осуществляют так называемую амальгамную пробу, характеризующую возможность использования соли для электролиза с ртутным катодом. Гидрогеологические и горнотехнические условия эксплуатации месторождения изучаются с детальностью, позволяющей выбрать наиболее безопасные и эффективные методы разработки. Особое внимание уде-

ляется устойчивости кровли камер выщелачивания и, главным образом, подземных горных выработок при шахтной добыче соли. Для этой цели изучаются породы кровли соли и несолевых пород в ее толще; их газонасыщенность, способность к набуханию (особенно под воздействием вентиляции), отслаиванию и обрушению.

На месторождениях сульфата натрия предварительная разведка проводится аналогичными методами, но ведение ее осложняется высокой гигроскопичностью некоторых солей, обезвоживанием мирабилита в сухом воздухе, растворением его в собственной кристаллизационной воде при повышенных температурах (30—40°С), в результате чего керн превращается в порошок или рассол, а глауберит распадается при соприкосновении с водой или с рассолами, далекими от насыщения сульфатом натрия. Все это требует предохранительных мер при бурения скважин как в части подбора состава промывочной жидкости (очевидно, лучше бурить всухую — с местной циркуляцией), так и соблюдения предосторожностей из-за возможных прихватов буровых наконечников. Необходимы также специальные мероприятия по обеспечению сохранности и консервации керна. Большое место на этой стадии занимают исследования по разработке технологий добычи, обогащения и переработки, принципиально решить которые и подобрать соответствующие технологические схемы из-за более сложного и разнообразного сырья, чем каменная соль, нужно уже на стадии предварительной разведки. Вследствие сложного минерального состава этих месторождений и значительной изменчивости его, меньших масштабов солевых залежей и более сложного внутреннего их строения на стадии предварительной разведки иногда требуется сгущение сети или скважин на профилях до 400—200 м.

Все скважины, пробуренные при поисках и предварительной разведке, должны быть тщательно затампонированы. Особое внимание уделяется подбору тампонажного материала и методам тампонажа верхнего интервала толщи каменной соли, сульфатных солей и пород кровли в интервале, обеспечивающем полное перекрытие (30—50 м) рассольного горизонта, нередко присутствующего над зеркалом соли. Породы, залегающие выше этого горизонта, тампонируются тампонажным цементом. Совершенно недопустимо заливать стволы скважин в толще солей глинистым раствором, даже густым. Заслуживают внимания рекомендации Казахского института минерального сырья о заполнении стволов скважин солями, образующими кристаллогидраты и по составу близкими к составу тампонируемой толщи солей. К ним относятся сульфаты натрия и магния, хлорид магния и пр. Хорошие результаты получены при тампонаже каустическим магнезитом.

Детальная разведка месторождений каменной соли осуществляется на месторождениях и участках, выбранных на основа-

нии результатов предварительной разведки и ТЭД (технико-экономического доклада). При этом наиболее детально изучаются участки, предназначенные для первоочередной промышленной разработки. В результате детальной разведки должны быть выявлены запасы каменной соли, обеспечивающие деятельность горнодобывающего (а иногда и перерабатывающего) предприятия на амортизационный срок службы его основного оборудования и сооружений. Последний для подобных предприятий обычно принимается в 30 лет, но для некоторых рассолопромыслов, например обслуживающих крупные химические комбинаты, он может быть увеличен до 40—50 лет, особенно в районах, мало освоенных промышленностью или с ограниченными перспективами выявления крупных месторождений каменной соли.

На стадии детальной разведки уточняется структура месторождения и участка разведки, строение и условия залегания пластов каменной соли, ее качество и технологические свойства, пространственное распределение основных компонентов и вредных примесей, технологических типов и сортов, горнотехнических условий разработки и другие данные, необходимые для обоснования кондиций, утверждения запасов в ГКЗ СССР и составления технического проекта разработки месторождения. Соотношение разведываемых запасов категорий А, В и C_1 на участке детальной разведки принимается в соответствии с классификацией запасов твердых полезных ископаемых и инструкцией по ее применению к месторождениям ископаемых солей, утвержденной ГКЗ СССР в 1961 г., в зависимости от сложности геологического строения месторождения, его генетического и промышленного типов. Значительное превышение разведанных запасов категорий А и В относительно соотношения, приведенного в классификации, нежелательно. Однако на месторождениях каменной соли, в которых истинная, или вертикальная,, мощность соли нередко составляет многие десятки и сотни метров, для оконтуривания всех запасов, обеспечивающих предприятие на амортизационный срок, часто достаточно четырех-шести скважин, расположенных на расстояниях, принимаемых для категорий В и А. Сокращение же расстояний между скважинами без крайней необходимости недопустимо из-за увеличения опасности затопления будущего рудника и резкого увеличения потерь соли в целиках, оставляемых вокруг стволов разведочных скважин. Во многих случаях для выяснения условий залегания, внутреннего строения и других параметров соляной залежи, особенно закономерностей распределения в пространстве неодинаковых по качеству разностей соли, следует бурить дополнительные скважины, расположенные по сети, принятой для категорий А или В, что приводит к значительному увеличению площади с детально разведанными запасами, количество которых может в несколько раз превышать требуемые.

Поэтому при детальной разведке месторождений каменной соли и определении минимально необходимого для нее числа скважин, пересекающих полезную толщу, часто приходится ориентироваться не на заданное количество запасов, а на минимальное число пересечений, обеспечивающее надежную характеристику геологического строения участка разведки, закономерностей изменения показателей качества и технологических свойств соли. Это число даже для пластовых, выдержанных по мощности и качеству соли, месторождений должно быть не менее 12—16.

На стадии детальной разведки, как и на предыдущих стадиях, минимальное число скважин и максимальные расстояния между ними, позволяющие надежно увязать пласты, слои и интервалы, установить геологическое строение месторождения и условия залегания соли, определяются путем последовательного сгущения сети разведочных скважин. При этом сокращение расстояний между скважинами более чем на 800—1000 м — крайняя мера требующая достаточно полного и убедительного обоснования, так как может привести к порче месторождения. Характер расположения скважин обусловливается типом месторождения, условиями залегания пластов каменной соли, степенью их тектонической нарушенности (особенно степенью развития соляной тектоники).

На пластовых и пластово-линзообразных месторождениях, приуроченных к горизонтально или полого залегающим соленосным формациям с незначительной тектонической нарушенностью, как правило, применяется квадратная или близкая к ней прямоугольная сеть. На месторождениях этого типа, расположенных в предгорных прогибах или в межгорных впадинах, длина которых часто многократно превышает их ширину, принимается прямоугольная сеть, которая на стадии поисков обычно представляет расположенные на большом удалении профили, в которых постепенно сокращались расстояния между скважинами, а затем уже (часто в стадии предварительной разведки) и между профилями таким образом, что к началу детальной разведки в профилях обеспечивалось освещение перекрытого разреза соленосной толщи и выявление основных антиклинальных и синклинальных складок низких порядков. Поэтому при детальной разведке сгущение сети производится в основном в результате закладки дополнительных профилей и сокращения расстояний между ними. В то же время на этой стадии в связи с накоплением материалов о закономерностях распределения в пределах бассейна различных нерастворимых и растворимых в воде примесей, а также каменной соли в разной степени загрязненной часть скважин, главным образом за пределами участка детальной разведки, может закладываться и вне сети для выяснения условий и источников загрязнения, влияющих на их распределение. На залегающих в относительно

спокойных условиях пластово-линзообразных месторождениях, большей частью относящихся к первой группе, сгущение сети до минимально допустимых расстояний обычно позволяет выявить запасы категории А (например, Новомосковское, Усольское, Тыретьское месторождения). На более сложно дислоцированных месторождениях предгорных прогибов даже более густая сеть часто обеспечивает выявление запасов только категории В, а месторождения вынуждает относить ко второй группе (например, Яр-Бишкадакское, Шедокское и др.).

На месторождениях, тектонически сильнонарушенных, со значительными проявлениями соляной тектоники, приуроченных к солянокупольным структурам, в стадии детальной разведки возможность сгущения сети скважин, пересекающих толщу солей, обычно ограничена бурением единичных скважин. Для выявления закономерностей распределения чистых разностей соли, гидрогеологических условий разработки и границ распространения солевых отложений, в зависимости от формы солянокупольной структуры, по сети или профилям, освещающим и краевые части структуры, закладываются скважины, вскрывающие соляное зеркало и углубляющиеся в соль всего на 10—20 м, и более глубокие — в краевых частях, фиксирующие карнизы соли, и полости, заполняемые несоляными породами под ними, а также служащие для изучения водоносных горизонтов в породах, окружающих солянокупольную структуру, и характера их взаимодействия с последней. Месторождения этого типа, как правило, относятся ко второй группе, а крайне сложные — к третьей. При минимально допустимых расстояниях между скважинами на них в лучшем случае выявляются запасы категории В (Соль-Илецкое, Солотвинское, Сереговское месторождения), а иногда приходится ограничиваться и запасами категории C_1 (Мозырское, Ефремовское месторождения). В отдельных случаях необходимая степень разведанности может быть достигнута только закладкой разведочно-эксплуатационной шахты при установленной экономической целесообразности этого.

В инструкции ГКЗ по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых к месторождениям ископаемых солей [28] приведены ориентировочные расстояния между скважинами для категорий А, В и C_1 с учетом опыта разведки и некоторого их разрежения. Для пластовых месторождений они равны 1000 (категория А), 1500 (категория В) и 2000 м (категория C_1); для куполо- и штокообразных — соответственно 400 и 800 м. Одновременно указывается, что эти расстояния нельзя рассматривать как обязательные. Для каждого разведуемого месторождения они должны обосновываться в процессе разведочных работ.

Применительно к месторождениям каменной соли, в зависимости от выдержанности ее качества, например характера чере-

дования слабо- и сильнозагрязненных слоев и прослоев, которое обусловлено также способом разработки и основным назначением соли (шахтным способом или подземным выщелачиванием; для пищевых целей, производства соды или электролиза), сложностью условий залегания и геологического строения. На пластовых месторождениях расстояния между скважинами могут изменяться: для запасов категории А от 800 до 1200 м, категории В от 1200 до 1600 м, категории C_1 от 1600 до 2400 м. На пластово-линзообразных месторождениях они могут изменяться соответственно от 400 до 800 м, от 800 до 1200 м и от 1200 до 2000 м; на линзообразных со сложным строением и невыдержанным качеством расстояния между скважинами для категории В могут изменяться от 400 до 800 м и категории C_1 от 800 до 1200 м. На солянокупольных месторождениях сложного строения, где скважины располагаются профилями вкрест простирания структуры или по линии наибольших изменений, скважины располагаются в линии профиля с расчетом пересечения возможно большей части разреза, а расстояния между профилями принимаются такими же, как и при линзообразных месторождениях. Необходимо подчеркнуть, что сокращение приведенных расстояний между скважинами нежелательно, так как может привести к порче месторождения. Увеличение их, особенно в пределах соленосных формаций, заключающих выдержанные по мощности и очень чистые по составу пласты каменной соли, для категорий В и C_1 первой группы месторождений вполне возможно, но при соответствующем обосновании. При выборе разведочной сети необходимо учитывать, что при шахтном способе добычи каменной соли, как правило, очень высоки требования к постоянству качества соли; в то же время уменьшение расстояний между скважинами наиболее нежелательно. При разработке месторождения способом ступенчатого подземного выщелачивания для эксплуатации могут быть использованы и разведочные скважины при соответствующем их оборудовании или последующем разбуривании, что позволяет в случае необходимости сгустить сеть в больших пределах, чем на месторождениях, предназначенных для шахтной разработки. Возможность усреднения и очистки добываемых из скважин рассолов в свою очередь позволяет предъявлять к качеству соли менее жесткие требования, а, следовательно, при несложном геологическом строении и простых условиях залегания каменной соли — несколько разредить сеть скважин.

Детальная разведка месторождений ископаемого сульфата натрия или сырья для его получения в СССР пока не проводилась. Судя по обнаруженным и предварительно изученным месторождениям (например, Кушканатау, Узунсу, Чуль-Адыр и др.), их масштабы значительно меньше промышленных месторождений каменной соли, более изменчивы условия залегания пластов и линз полезного ископаемого, менее выдержаны мине-

ральный состав и качество солей. Поэтому разведочная сеть на таких месторождениях должна быть по крайней мере в два—три раза более плотной, чем на месторождениях каменной соли соответствующих типов. Значительная часть залежей ископаемого сульфата натрия располагается на небольших глубинах в горных районах, иногда обнажается на поверхности земли, что дает возможность наряду со скважинами использовать при разведке и горные выработки: в основном канавы, шурфы, реже штольни,— не умаляя, однако, ведущей роли скважин.

Детальная разведка месторождений каменной соли и сульфата натрия осуществляется скважинами колонкового бурения. Особое внимание при этом уделяется не только высокому выходу керна, который, как правило, должен быть не ниже 90—95%, но и его состоянию. Это связано с необходимостью получения информации не только о химическом составе соли, но и о ее минеральном и вещественном составе, структурно-текстурных особенностях, прослоях солей различного состава, степени загрязнения, вещественном составе нерастворимого в воде остатка и характере его распределения, прослоях несолевых и засоленных пород, технологических и физико-механических свойствах солей. Поэтому для разведки неприменимы способы бурения, приводящие к раздроблению, измельчению солей, существенному изменению их физического состояния по сравнению с состоянием их в солевой залежи.

Длина столбиков керна косвенно свидетельствует о наличии или отсутствии мелких прослоек или слоев иного солевого состава, которые могли быть вынесены в процессе бурения с промывочной жидкостью (ангидрит, доломит, глинистые породы и др.) или растворены в ней (сильвин, карналлит и др.). В связи с этим большое значение приобретает совершенствование техники и технологии бурения, направленное на повышение качества керна и улучшение его состояния. К мероприятиям, способствующим этому, относятся: увеличение диаметра скважин (вместо принятого 91 мм иногда целесообразно увеличить его до 131 мм) и соответственно керна; применение различных коронок; уменьшение скорости вращения колонковой трубы и коронки, вплоть до применения снаряда, в котором колонковая труба не вращается; изменение режима промывки, бурения с местной циркуляцией промывочной жидкости; насыщение промывочной жидкости не только относительно хлористого натрия, но и других легкорастворимых солей, прослои которых могут быть встречены в соленосной толще (хлористого калия и хлористого магния). В некоторых случаях может потребоваться насыщение промывочной жидкости сульфатными солями и хлористым кальцием. Отсутствие избирательного выноса солей или характер выноса, если он есть, определяется тщательным анализом поднятого керна, систематическими анализами промывочной жидкости, а также применением геофизических каротаж-

ных методов: гамма-каротажа, кавернометрии, нейтронного гамма-каротажа, микрокаротажа отдельных интервалов, обычно позволяющих выявить прослои калийных и калийно-магниевых солей, глинистых пород и сравнительно легкоразмываемые прослои сильнозагрязненной каменной соли.

До начала или на первом этапе детальной разведки подбирается и обосновывается комплекс необходимых каротажных и площадных геофизических методов, а также эталонирование, методика и техника их выполнения, необходимая разрешающая способность и масштаб исследований, обеспечивающих надежное определение максимального числа необходимых для оценки и последующей эксплуатации месторождения параметров полезной толщи и показателей, характеризующих качество и свойства соли.

Обязательно следует проводить по каждой скважине инклинометрию с детальным (через 25 м) определением зенитных и азимутальных искривлений ствола скважины, точным определением ее координат в точке входа в солевую залежь, а также в точках пересечения промышленных пластов или горизонтов и ее забоя. Столь же обязательно проведение по всем скважинам кавернометрии. Наряду с широко применяющимся гамма-каротажем, позволяющим выявлять в каменной соли слои с повышенным содержанием калия, прослои калийных солей и глин, слои соли, в разной степени загрязненной нерастворимыми примесями, а также отбивать ее подошву и кровлю, необходимо проверить целесообразность применения нейтронного гамма-каротажа, плотностного гамма-гамма-каротажа, нейтрон-нейтронного каротажа и пока почти не применявшихся на солевых месторождениях электрокаротажа методами КС и ПС, акустического и микросейсмического каротажа, а также термокаротажа. В ряде случаев необходимо применять микрозондирование или микрокаротаж для выявления характера и состава прослоев малой мощности, которые могут оказывать существенное влияние на условия эксплуатации месторождения, качество соли или рассола. В зависимости от особенностей конкретных месторождений и задач по их изучению подбирается и применяется соответствующий комплекс площадных геофизических исследований: электрозондирование, сейсмометрия, магнитометрия и др.

На стадии детальной разведки завершается процесс комплексного изучения месторождения с окончательным выбором основного направления использования каменной соли, с проверкой возможных попутных областей ее использования, с выявлением и оценкой технической и экономической целесообразности использования попутных компонентов. Этот вопрос сравнительно несложно решается на месторождениях с шахтной добычей соли, которая по своим качественным показателям должна отвечать требованиям госта на пищевую соль. Некондиционные

разности оцениваются качеством кормовой соли, а также для технических целей. Обогащение этих разностей соли пока не практикуется. Однако иногда, например на Солотвинском месторождении, оно может быть целесообразным: каменная соль этого месторождения содержит ничтожное количество растворимых примесей, а загрязненные ее разности содержат только повышенное количество глинистого материала, освободиться от которою сравнительно несложно — дроблением и промывкой. Это необходимо иметь в виду при разведке аналогичных месторождений, предусмотрев проведение соответствующих технологических испытаний.

На месторождениях, разрабатываемых методами подземного выщелачивания соли, изучение их при детальной разведке производится с расчетом использования рассолов как для электролиза, так и для получения пищевой выварочной соли, так как предприятия эти нередко совмещаются. Особое внимание при этом обращается на возможность утилизации отходов, получающихся при очистке рассолов, и маточных рассолов, образующихся в процессе выварки соли, или их сброса, что, как правило, нежелательно. Должна быть изучена и возможность использования попутных компонентов, прежде всего брома.

В процессе разведки геологическая документация постоянно совершенствуется, сопоставляется с результатами анализов и испытаний, уточняется, и к началу детальной разведки она приобретает определенную тенденцию и законченность, соответствующую особенностям месторождения и основным направлениям использования соли. Введение фотодокументации не может полностью освободить геолога от описательной части, в которой фиксируются: все разности соли, отличающиеся по цвету, структурно-текстурным особенностям, размерности зерен и кристаллов, степени загрязненности; характер распределения загрязняющих примесей (в кристаллах, между ними, в виде сетки, прослойков и прожилков и т. д.); формы кристаллов, прозрачность, наличие и характер газово-жидких включений. Отмечается характер и прочность связи прослойков и прожилков несолевых пород с каменной солью с учетом возможности их отделения при обогащении соли или при подземном выщелачивании. При необходимости создается эталонная коллекция разностей соли для сопоставления их по скважинам, пластам, слоям с целью увязки. Большое внимание уделяется волокнистым разностям галита, обычно образующимся по трещинам, легче растворяющимся, чем другие разности, и являющимся потенциальными проводниками вод и рассолов. Тщательно описывается характер, состояние, степень засоленности прослойков несолевых пород. Обязательно фиксируется состояние керна — длина и диаметр столбиков, их торцы, следы и степень растворения разностей соли с поверхности керна. Фиксируются все примерные углы наклона прослоев, прожилков, проявления бу-

динажа. При послойном в основном описании керна интервалы, фиксируемые в документации, не должны превышать интервалов отбора ,проб на анализы и испытания, так как одна из задач документации заключается в выявлении возможности по макроскопическим признакам определять разности соли, отличающиеся по данным анализов. При документации месторождений сульфата натрия определяются визуально минералы, слагающие соленосную толщу, круг которых значительно шире, чем на месторождениях каменной соли, и их соотношение в разных частях разреза.

Качество и технологические свойства каменной соли и сырья для получения сульфата натрия должны быть изучены на представительных пробах, число, объем и масса которых позволяют разработать технологическую схему переработки, а при необходимости и обогащения сырья с максимальным извлечением всех полезных компонентов и по возможности с полной утилизацией отходов.

Опробование. По всем скважинам и горным выработкам толща солей должна быть опробована на полную мощность, вскрытую поисковыми и разведочными скважинами, а также горными выработками. Пробы отбираются для химических анализов, минералого-петрографических исследований, физико-механических и лабораторно-технологических испытаний, в некоторых случаях — для укрупненных лабораторных и полупромышленных испытаний.

Отбор проб на химические анализы производится путем высверливания в керне отверстия и сбора образующегося при этом порошка. Эта операция выполняется на обычном сверлильном или специально сконструированном горизонтальном сверлильном станке с приспособлением для подачи и центровки керна, а также сбора всего высверливаемого материала. Отверстие (диаметром 12 или 16 мм, но обязательно одного диаметра по всей длине керна) обычно делается в центре керна по его оси с таким расчетом, чтобы в пробу попадало количество материала, пропорциональное длине керна. На отдельных интервалах, с которых отбираются пробы для физико-механических или специальных технологических испытаний ненарушенного керна, может быть целесообразно сверлить отверстия ближе к краю керна. Раскол керна вдоль его оси с последовательным измельчением и квартованием материала пробы в настоящее время почти не применяется и считается неприемлемым из-за его трудоемкости, возможного накопления ошибок при измельчениях и квартованиях, а также из-за недостаточно равномерной представительности в пробах разностей чистой и загрязненной примесями соли. Керн чистой соли, как правило, имеет больший диаметр, а следовательно, и удельный объем на единицу длины керна, чем прослои и линзы соли с повышенным содержанием других легкорастворимых солей и нерастворимых примесей, особенно га-

лопелитов; больший диаметр имеют также прослойки ангидрита и доломита.

В настоящее время опробование расколом керна практикуется главным образом для несолевых пород, отбираемых в отдельную пробу, из-за их неоднородности, а чаще — необходимости отбирать большее, чем обычно, количество материала в конечную пробу для анализа солей в водной и солянокислой вытяжке из них. Отбор проб соли расколом керна бывает необходим в редких случаях при крайне неравномерном распределении в ней примесей. Однако и в этом случае следует оценить возможность отбора более крупных конечных проб за счет увеличения диаметра отверстия в керне. Практикующееся иногда распиливание керна и сбор в пробу опилок, как правило, дает менее представительные пробы по сравнению со сверлением отверстий. Отбор проб от керна бороздой недопустим.

Отбор проб каменной соли производится послойно с учетом изменения состава соли и степени ее загрязнения, для однородной толщи — секционно (длина секции, обычно не превышает 1—2 м). Длина секции для однородной толщи соли или при крутых углах ее падения может быть увеличена до 5 м, а в отдельных случаях и до 10 м. На стадии поисков пробы отбираются главным образом послойно, даже при очень малой мощности визуально выделяющихся прослоев и линз, а длина секций принимается минимальной (не более 1—2 м). На стадии предварительной, а иногда и детальной разведки, когда соотношение визуальных оценок степени выдержанности состава соли и данных химических анализов будет установлено достаточно надежно, минимальные длины послойных проб и секционные интервалы могут быть увеличены.

Общее правило о включении в пробу соли несолевых пород, которые не могут быть отработаны селективно, не всегда применяется правильно. Иногда эти породы вообще не опробуются, что неверно. Прослои несолевых пород малой мощности должны включаться в пробу, независимо от способа намечаемой разработки месторождения. При разработке месторождения каменной соли шахтным способом иногда возможна селективная отбойка прослоев мощностью 10 см и даже 5 см, но чаще она больше и достигает 0,2—0,3 м. На месторождениях каменной соли, предназначенных для подземного выщелачивания, в целиках могут быть оставлены прослои несолевых пород мощностью не менее 0,5 м, а нередко и 1—5 м. Эта мощность зависит от прочности и устойчивости этих пород, прежде всего характера и степени их засоленности; состав солей в этих прослоях обычно сильно отличается от состава массивной каменной соли — они содержат в 10—20 раз больше солей калия и магния, иногда сульфаты их или хлористые соли кальция. Скорость же выщелачивания этих солей из несолевых прослоев часто значительно большая, чем скорость растворения каменной соли, что при под-

земном выщелачивании может сказываться на содержании растворимых примесей в рассоле, обычно жестко лимитируемых. Поэтому, как правило, такие прослои мощностью менее 0,3 м, а при соответствующем обосновании и меньшей мощности, должны включаться в пробу соли, а из всех прослоев большей мощности должны отбираться самостоятельные пробы.

При отборе проб из месторождений сульфатов натрия руководствуются теми же правилами, что и при отборе проб каменной соли, но обращают большее внимание на отбор послойных проб, учитывая наличие в них большого количества минеральных разностей солей, а также большую степень их загрязненности. Неравномерность распределения минеральных разностей и примесей на таких месторождениях заставляет чаще прибегать к отбору проб путем раскола керна, его измельчения и квартования. В то же время наличие в них неустойчивых к атмосферным воздействиям солей заставляет принимать специальные меры предосторожности при отборе, обработке и хранении проб, подобные применяемым при опробовании озерных месторождений солей.

Опробование горных выработок, как правило, производится бороздой. Расстояния между бороздами (пробами) и сечение борозд определяются с учетом условий залегания, мощности, степени однородности состава и качества опробуемых слоев солей. Отобранные пробы подвергаются сокращению. Правильность принятой схемы обработки проб подтверждается экспериментальными работами или данными об аналогичных месторождениях. Обычно коэффициент К для месторождений солей равен 0,1—0,5.

Особое значение имеют условия хранения не только керна, но и обработанных, подготовленных для лаборатории проб. Длительное хранение их до анализа, особенно несколько сезонов, связанное со значительными колебаниями температур и влажности воздуха, крайне нежелательно. Измельченные пробы должны храниться при постоянной температуре и влажности воздуха в герметической упаковке, полиэтиленовых пакетах или посуде. Это относится и к пробам каменной соли, которая, как показывают исследования, нередко содержит примесь тахгидрита, расплывающегося во влажном воздухе, и других нестойких солей.

Для минералого-петрографических исследований отбираются пробы, предназначенные для их изучения в иммерсионных жидкостях. Образцы по минеральному составу в известной мере должны отражать средний состав солей определенного слоя или интервала, отличающегося характерными особенностями, или быть типичными для интервалов с определенными текстурными и структурными признаками для изготовления из них шлифов. Материалом для проб, как правило, может служить часть пробы, получающаяся при сверлении керна, но не подвергшаяся

дальнейшему измельчению для химического анализа, которая отбирается после усреднения и квартования материала. Переизмельчение таких проб нежелательно, так как оно может привести к искажению минерального состава в результате потери при этом неустойчивых минералов. При сложном минеральном составе таких проб целесообразно разделить их на фракции в тяжелых жидкостях. Реже, в основном на месторождениях сульфатов натрия, для этих исследований могут отбираться специальные самостоятельные пробы.

Образцы для изготовления и петрографического исследования шлифов отбираются сравнительно редко, главным образом из пластов галита, в связи со значительными трудностями изготовления шлифов из-за растворения и разрушения неустойчивых минералов. Число проб и образцов может варьировать в очень широких пределах (от нескольких десятков и сотен), что обусловливается различной степенью изменчивости состава пород. Отбор проб для минералого-петрографических исследовании и их изучение проводится на всех стадиях геологоразведочных работ, начиная с поисков. При этом на подстадии поисково-оценочных работ необходимы отбор и изучение проб из всех основных разностей соли для выявления комплекса минералов, встречающихся на месторождении, с целью разработки оптимальной методики химического анализа и подбора компонентов, требующих обязательного определения. Особое место занимает отбор проб и образцов из прослоев несолевых пород на месторождениях, предназначающихся для подземного выщелачивания соли, ориентировочного определения их поведения в процессе выщелачивания и образования камер (устойчивость, возможность выщелачивания из них солей и загрязнения рассолов за счет растворимой части этих пород).

На стадиях предварительной и детальной разведки пробы для минералого-петрографических исследований отбираются относительно равномерно по площади участка разведки и мощности толщи солей, в основном по сети, степень разрежения которой зависит от изменчивости соляных пород, но если ими охарактеризованы все основные разности солей. Обработка и хранение проб осуществляются с такими же предосторожностями, как и обработка и хранение проб для химических анализов.

Отбор проб для лабораторных, технологических испытаний и определения физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород производится таким образом, чтобы были охарактеризованы все основные разности солей и вмещающих пород разведуемого месторождения. Представительность проб определяется на основе анализа геологической документации, данных химических анализов и минералого-петрографических исследований. Основная часть проб отбирается на стадиях предварительной и детальной разведки. Число и масса проб

согласовываются с организацией, производящей испытания, а проб для физико-механических испытаний кроме того с организацией, проектирующей горное предприятие или рассолапромысел. На пробу для физико-механических испытаний столбики ненарушенного керна отбираются так, чтобы из них можно было изготовить достаточное для надежной оценки число цилиндров, кубиков, балочек (9—15), характеризующих слой или интервал однородной по свойствам разности соли или несолевых пород. В зависимости от масштабов месторождения и сложности его геологического строения число проб на физико-механические испытания может колебаться от 10 до нескольких десятков. Иногда для их отбора необходимо бурить скважины большого диаметра (до 146 мм).

На пробы для лабораторных технологических испытаний большей частью отбирается керновый материал (без дополнительного его измельчения), иногда в виде достаточно крупных столбиков ненарушенного керна, с интервалов, обеспечивающих необходимую массу пробы и ее представительность. Значительно реже, например для амальгамной пробы, требуется усреднение материала с определенного слоя или интервала, проводимое путем последовательных измельчений и квартований или путем высверливания отверстия в керне и сбора материала, как при отборе проб для химического анализа. Нежелательно составлять лабораторные технологические пробы смешением материала из нескольких скважин. Лабораторные технологические испытания на укрупненных пробах проводятся довольно редко, полупромышленные — еще реже, главным образом на месторождениях сульфата натрия. Для каменной соли они обычно не требуются.

При планировании и проведении физико-механических и технологических испытаний необходимо учитывать нежелательность длительного хранения керна и возможное при этом изменение его свойств. Керн, извлеченный из скважин, должен испытываться в ближайшее время. Сроки бурения скважин должны быть увязаны со сроками проведения испытаний.

Анализы и испытания каменной соли и сульфата натрия. Основным видом исследований, определяющим пригодность солей для промышленного использования, их качество, сорт и основные области применения, на всех стадиях геологоразведочных работ являются химические анализы проб солей. Методика анализов, их контроль, порядок пересчета на солевой состав и компоненты, определяемые анализами, практически почти такие же, как проведенные выше для озерных месторождений поваренной соли и сульфатов натрия. Отличия их связаны с особенностями ископаемых солей, дополнительными задачами по стратификации и увязке пластов и слоев солей, особенно при сложных условиях залегания, а также со специфическими особенностями их добычи и использования. Так, в массовых анализах каменной

соли наряду с определением содержаний Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-} и CO_3^{2-}, H_2O из водной вытяжки и нерастворимого в воде остатка, как правило, необходимо прямое определение содержаний Na^{+} и K^{+}, по части проб Br^{-}, нередко B_2O_3, Fe_2O_3. Необходимость определения этих компонентов по всем пробам или по значительной части проб обусловлена: 1) степенью изменчивости их содержания по пластам и слоям, а также по площади месторождения; 2) жесткостью требований промышленности к содержанию калия в рассолах, предназначенных для электролиза и окиси железа в пищевой соли; 3) наличием на некоторых месторождениях горизонтов, обогащенных калийными, реже — борсодержащими солями; 4) важностью определения бром-хлорного коэффициента для стратификации разреза каменной соли.

В пробах каменной соли на месторождениях с невысоким содержанием нерастворимого остатка и сульфата кальция анализ солянокислой вытяжки выполняется по небольшому числу (10-—20) проб, характеризующих основные разности соли. При повышенном содержании нерастворимого остатка (более 1%) и сульфата кальция (более 3—4%) число анализов солянокислой вытяжки должно быть резко увеличено. При этом следует учитывать возможное наличие в каменной соли полигалита, глауберита, целестина, которые могут полностью не переходить в водную вытяжку, а в солянокислой вытяжке, кроме Ca^{2-}, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Fe_2O_3, н. о. следует определять содержания Mg^{2+}, Sr^{2+}, K^{+}, Na^{+}. Необходимый объем определений дополнительных компонентов выясняется на подстадии поисково-оценочных работ, иногда на стадии предварительной разведки. Спектральным анализом по небольшой части проб определяется содержание микрокомпонентов, в том числе тяжелых металлов — ванадия, молибдена и др.

Химические анализы сульфатов натрия ископаемых и озерных месторождений по своему характеру не различаются.

Химические анализы каменной соли и особенно сульфатов натрия, как правило, должны сопровождаться определениями минерального состава солей, позволяющими проверить правильность пересчета ионного на солевой состав и при необходимости уточнить его. Определения эти проводятся путем просмотра проб в иммерсионных жидкостях под микроскопом. Значительно реже, в основном для каменной соли, минеральный состав устанавливают, просматривая шлифы. Для месторождений со сложным минеральным составом солей в ряде случаев целесообразно производство количественных минеральных анализов с отделением неустойчивых минералов и разделением минералов с близкими оптическими свойствами в тяжелых жидкостях. Для месторождений сульфатных солей иногда необходимо определять вещественный состав солей — химический и минеральный состав фракций различной крупности, зависящей от размеров

зерен или кристаллов основных солей и примесей. Петрографическими исследованиями на шлифах или в иммерсионных жидкостях выявляются структурно-текстурные особенности солей, состав, характер и размеры зерен примесей, в частности нерастворимых в воде, соотношение их количества в кристаллах солен и между кристаллами, характер и количество газово-жидких включений в кристаллы.

Лабораторные технологические испытания каменной соли на месторождениях, предназначенных для шахтной разработки, проводятся в небольших объемах, главным образом для изучения возможности обогащения загрязненных пластов или слоев, ее дроблением и последующей промывкой рассолом или водой. Основное при этом — определение размерности фракций, в которых возможно отделение примесей, и разработка режимов промывки, обеспечивающей удаление последних. При дальнейшем использовании соли в химической промышленности, изучаются условия и скорость растворения основных разностей солей, условия отделения от нее нерастворимых примесей и очистки рассола.

На месторождениях, намечаемых для эксплуатации методом подземного выщелачивания соли, необходим значительный объем лабораторных технологических испытаний. Основная часть их направлена на выяснение условий и скорости растворения разностей солей, отличающихся текстурно-структурными особенностями, количеством и составом примесей в них, а также характера дезинтеграции засоленных несолевых пород прослоев, заключенных в толще каменной соли, в условиях перемешивания образующегося рассола и без его активного перемещения. Эти исследования необходимы для прогноза развития рабочих камер при выщелачивании и для определения оптимальных условий образования насыщенного рассола. Не менее важны и исследования характера перехода в рассол растворимых примесей, содержащихся в соли, условий получения кондиционного по составу и концентрации рассола, а также оптимальных методов очистки его от примесей. На достаточно большом числе проб должна быть изучена амальгамная проба, благодаря которой по скорости и количеству выделившегося на катоде водорода определяется возможность использования получающегося при растворении соли рассола для электролиза с ртутным катодом непосредственно в сыром виде или после очистки от солей магния и кальция, или только после перекристаллизации соли, удаления с маточником вредных примесей (тяжелых металлов) и растворения очищенной соли. Подобные испытания на укрупненных пробах в лаборатории или в полупромышленных условиях, как правило, не проводятся. При испытаниях растворения каменной соли используется чистая вода, а также вода источников, из которых она будет поступать при промышленной эксплуатации.

Технологические испытания сульфатных солей ввиду малой изученности их месторождений и большого разнообразия состава и свойств солей (вследствие чего для каждого нового месторождения должны разрабатываться индивидуальная технологическая схема, учитывающая особенности месторождения, а также аппаратурное оборудование для нее) следует проводить как в лабораторных, так и полупромышленных условиях. Объем и характер этих исследований определяются организацией, проводящей технологические исследования.

Физико-механические испытания проводятся с целью выяснения горногеологических условий эксплуатации месторождения. Для шахтного способа наиболее важно определить устойчивость пород в кровле и целиках горных выработок, допустимые параметры эксплуатационных выработок и целиков между ними; для метода подземного выщелачивания соли — допустимые диаметры рабочих камер, устойчивость сводов и несущую способность целика соли в кровле камеры, допустимые размеры и форму целиков между камерами. Очень важно сохранение и изменение прочностных свойств целиков во времени под воздействием вентиляции шахт и соприкосновения с рассолами в камерах выщелачивания. Комплекс этих исследований определяется организацией, разрабатывающей проект горных работ.

Основной задачей геолога является отбор и передача в специализированную лабораторию проб, представительных для всех основных разностей соли и вмещающих несолевых пород, в соответствии с требованиями к массе и состоянию проб, предъявляемыми этой лабораторией. Представительность проб устанавливается по данным геологической документации, химических анализов, минералого-петрографических исследований и изучения прочностных свойств солевых и несолевых пород по общепринятым в лабораториях нерудных полезных ископаемых методам (определение предела прочности при одноосном сжатии, сопротивления растяжению, изгибу, сколу и т. д.). Весьма важно выявить такие свойства солевых и несолевых, особенно глинистых, пород, как склонность их к набуханию, расслаиванию, уменьшению или увеличению объема, выветриванию при изменении условий их залегания, вызванном эксплуатацией (соприкосновением с рассолами, насыщенными или ненасыщенными относительно содержащихся в них солей, с воздухом разной температуры и влажности).

Определение объемной массы каменной соли и сульфатов натрия, учитывая низкую пористость ископаемых солевых пород и практическую их водоупорность, за исключением зон интенсивного выветривания близ поверхности и карстования краевых частей залежей на глубине и на выходах на поверхность, производится в основном по керну, извлекаемому из скважин. Определение объемной массы путем выемки целиков, взвешивания породы и замера объема пространства, из которого она извле-

чена, производится только в горных выработках на эксплуатируемых месторождениях или в редких случаях в выходах солевых пород на поверхность.

Объемная масса каменной соли по керну определяется отбором столбиков керна, представляющих основные разности соли, их парафинированием и гидростатическим взвешиванием в воде или в керосине с замером вытесненной керном жидкости. Обычно достаточно 10—15 таких определений. Параллельно определяется влажность кусочка керна, отколотого от испытуемого образца. После взвешивания проводятся химический анализ состава столбиков керна, по которым определялась объемная масса. В зависимости от изменчивости состава соли эти анализы производятся по 2—5 образцам.

Определение объемной массы солей месторождений сульфатов натрия также производится по столбикам керна, однако в связи с изменчивостью не только химического, но и минерального состава солей, часто представленных кристаллогидратами, и с большими различиями в объемной массе приходится делать несколько десятков определений. При этом каждый образец после измерения его объемной массы подвергается химическому анализу с определением в нем всех основных компонентов, гидратной воды и гигроскопической влаги, с проверкой его минерального состава. По данным химических анализов и соответствующих им данных определений объемной массы испытанных образцов строятся кривые зависимости объемной массы от минерального и химического состава для каждой из основных разностей солей, выделяемых на месторождении. В соответствии с этими графиками рассчитывается объемная масса сырья в каждом блоке для каждой выделенной разности или типа сырья.

Разведка в пределах горного отвода. Доразведка эксплуатируемых и переданных в эксплуатацию после завершения детальной разведки месторождений производится, как правило, одновременно с эксплуатацией месторождения с целью увеличения детально разведанных запасов (особенно при намечающемся увеличении производительности и реконструкции предприятия), изучения флангов и более глубоких горизонтов, с выявлением запасов категорий C_2 и C_1 и переводом их в категории В и А. Методика проведения этих работ близка к методике предварительной и детальной разведок. Наиболее существенное отличие ее заключается в возможности и необходимости корректирования методики опытом эксплуатации месторождения путем сопоставления этих данных с данными ранее проводившейся разведки и определения оптимальной плотности сети, расположения выработок, уточнения методики анализов и определенных компонентов, возможности выделения и геометризации типов и сортов сырья, геологического строения месторождения в

результате вскрытия его горно-эксплуатационными выработками.

На современных озерных месторождениях солей, площадь которых, за исключением таких крупных, как залив Кара-Богаз-Гол, обычно разведуется полностью, доразведка производится с целью перевода запасов категории C_2 в C_1 а последних в категории В и А на участках, намечаемых к освоению в ближайшие годы, а также с целью выявления запасов на более глубоких горизонтах, которые ранее не разведывались из-за отсутствия технологии и технических средств их разработки. Так было, например, на оз. Баскунчак, где детальная разведка сначала проводилась до глубины 3 м, в более поздние годы до 6 м и, наконец, в 1971—1974 гг. на полную мощность верхней линзы солей, т. е. до глубины 12—15 м. Второй важной задачей этих работ является проверка состояния соляного озера через 10—15 лет эксплуатации для уточнения его режима, направления развития, фиксации изменений, происшедших в нем, выяснения характера воздействия на озеро эксплуатации, определения оптимальных масштабов и способов добычи полезного ископаемого. В результате доразведки производится полная переоценка всех запасов солей в озере с учетом современных требований промышленности.

На месторождениях каменной соли доразведка с целью продления срока деятельности рудника или солепромысла сверх нормативного или в связи с его реконструкцией и расширением обычно проводится на флангах эксплуатируемого и разведанного участков месторождения или на более глубоких горизонтах соленосной толщи. Доразведка на флангах чаще всего применяется на месторождениях с почти горизонтально или полого залегающей толщей каменной соли. По методам и содержанию она почти не отличается от предварительной и детальной разведок, и, как правило, проводится на участках, рекомендованных при поисково-оценочных работах как перспективные для освоения в будущем. Сопоставление этих участков с эксплуатируемыми, вскрытыми горными выработками или камерами выщелачивания при тщательной их документации и опробовании дает богатый материал для совершенствования методов доразведки: 1) необходимую плотность сети скважин, обычно применяющуюся для этой цели; 2) геологическое строение и условия залегания полезной толщи; 3) возможность выделения и селективной отработки типов и сортов соли; 4) представительное опробование; 5) закономерности распределения примесей, их вещественного состава, необходимого комплекса определяемых компонентов; 6) возможность более широкого комплексного использования соли, ее обогащения; 7) параметры, определяющие гидрогеологические и горнотехнические условия разработки доразведуемого участка.

Доразведка на глубину производится на месторождениях, представленных мощной толщей или несколькими пластами каменной соли или приуроченных к солянокупольным структурам, на которых эксплуатационными горными выработками вскрыты и разрабатываются только верхние горизонты или пласты. Основная ее особенность заключается в преимущественном использовании скважин подземного бурения, которые бурят из подземных горных выработок, при максимальном сокращении числа скважин, закладываемых на поверхности земли. Бурение подземных скважин, особенно в солянокупольных структурах, имеет существенные преимущества перед бурением наземных скважин: из них получают значительно большую информацию об условиях залегания каменной соли, в частности крутопадающих пластов, о закономерностях изменения вещественного состава соли. Это достигается бурением подземных скважин под разными углами наклона — от вертикальных, направленных вниз, и даже вверх, до горизонтальных, нередко с одной площадки, веером, в нескольких направлениях. Однако оно имеет и существенные трудности, связанные со сложностью бурения в подземных условиях. Это невозможность промывки, а поэтому и малоудовлетворительное состояние керна, представленного мелкими обломками и нарушенного, опасность вскрытия скважинами полостей, заполненных рассолами или газом, а в солянокупольных структурах — вскрытия краевых частей купола и карстовых полостей, что может вызвать гибель солерудника. Все это обусловливает необходимость принятия очень строгих мер предосторожности, а среди них — точной фиксации положения проектируемых и пробуриваемых скважин, применения комплекса геофизических методов для обнаружения полостей, а также точных границ распространения соли и карста, чему способствует бурение гидрогеологических скважин до зеркала соли и в пограничных частях структуры — с поверхности.

При доразведке месторождений каменной соли наряду с подземными скважинами необходимо максимально использовать подготовительные и выемочные горные выработки путем их тщательной документации и опробования для установления закономерностей распределения типов, сортов и разностей соли и увязки их на эксплуатируемом и вновь разведуемом участке или горизонте.

Эксплуатационная разведка переданных промышленности месторождений после их детальной разведки и утверждения запасов ГКЗ СССР должна начинаться при подготовке их к разработке с началом проходки подготовительных и эксплуатационных горных выработок и продолжаться до окончания эксплуатации месторождения. К сожалению, на многих месторождениях нерудных полезных ископаемых, в том числе современных озерных месторождениях солей и месторождениях каменной соли,

организацию ее пока нельзя признать вполне удовлетворительной.

Эксплуатационная разведка проводится на участках, подготавливаемых к разработке и разрабатываемых, как правило, с опережением эксплуатации на два—четыре года. Основной задачей ее является: дальнейшее уточнение контуров распространения кондиционных солей и сортовых прослоев, качественная характеристика горнотехнических условий разработки, подсчет запасов, подготовленных к выемке, и на основе их составление годовых, квартальных и месячных планов добычи соли. Дальнейшая задача ее заключается в получении материалов для: 1) контроля полноты отработки месторождения; 2) определения потерь и разубоживания солей при добыче; 3) определения правильности направления и системы принятой отработки, ее соответствия особенностям месторождения и отрабатываемых З'частков; 4) выработки рекомендаций по дальнейшему совершенствованию методов разработки месторождения.

На озерных месторождениях солей эксплуатационная разведка должна включать обязательный комплекс наблюдений за уровенным, термическим и гидрохимическим режимами соляного озера, за переходом солей из жидкой фазы в твердую и обратно на специально оборудованных для этой цели наблюдательных постах, для краткосрочного и долговременного прогнозов состояния рапы и твердых солей озера. На рапных озерах, в зависимости от условий и сроков забора рапы один—два раза в год или ежесезонно производятся единовременные замеры уровней рапы и отбор проб, по числу точек достаточному для надежного суждения об ее объемах, составе и изменениях в пределах озера; изучается также выпавшая новосадка. Из рапозаборных скважин систематически отбираются пробы для химического анализа, определяется количество откачиваемой рапы.

На рапных озерах с пластами солей, залегающими непосредственно под рапой и служащими объектом добычи солесосами или другими механизмами, наряду с режимными наблюдениями производится бурение скважин на участках, намечаемых к разработке на ближайшие два—четыре года, по сети обычно в два раза более плотной, чем для категории А или категории В (на месторождениях II группы). С помощью скважин определяется мощность пласта соли, выявляются, а затем оконтуриваются площади, где пласт соли целиком или частично замещен илом. Из скважин отбираются пробы на химический анализ соли.

На «сухих» соляных озерах эксплуатационная разведка также включает комплекс режимных наблюдений, бурение и опробование скважин по сети более плотной, чем при детальной разведке, оконтуривание площадей замещения соли илом, а также площадей и слоев соли, сильно загрязненных примесями. В ее задачу входит также проверка полноты отработки пласта соли,

определение количества соли, остающейся в выломах, степени её загрязнения, восстановления в выломах пласта соли, ее качества и возможности повторной отработки. При использовании межкристальной рапы путем ее откачки проверяется состояние пласта соли, степень и характер его карстования, вынос из него с рапой тех или иных солей, изменение строения пласта и состава солей в нем. Для этой цели производится бурение скважин, дублирующих разведочные, их опробование, изучение химического состава пластов и слоев солей, их минерального состава и петрографических особенностей. Данные эти сопоставляются с данными детальной разведки, для выявления изменений происшедших в результате эксплуатации. Одновременно фиксируется состояние поверхности пласта соли — появление карстовых воронок, промоин, ложбин, трещин.

На месторождениях каменной соли при шахтном способе добычи эксплуатационная разведка в зависимости от конкретных особенностей месторождения может заключаться в следующем: 1) проходке специальных горных разведочных выработок; 2) опережающем бурении скважин из забоев горно-подготовительных и нарезных выработок; 3) бурения скважин из горных выработок одного горизонта на другой; 4) тщательной геологической документации и опробовании горно-подготовительных, нарезных и очистных выработок, буровзрывных скважин и шпуров; 5) производстве химических анализов и минералого-петрографических исследований; 6) увязке пластов, слоев, сортовых интервалов и прослоев некондиционной соли; 7) сопоставлении их с данными детальной разведки, с одной стороны, и с качественными показателями добываемой соли —с другой.

На месторождениях каменной соли, разрабатываемых методом подземного выщелачивания, эксплуатационная разведка обычно ограничивается геологической документацией и опробованием эксплуатационных скважин, выполнением по пробам из них развернутых химических анализов, иногда определением вещественного состава соли и свойств нерастворимого в воде остатка, систематическим контролем за развитием камер прибором типа «Луч» или другими средствами, анализами откачиваемых из камер рассолов, сопоставлением их с данными детальной разведки и разработкой мероприятий по оптимальным условиям закладки новых камер, режиму их образования и эксплуатации, методике усреднения, очистки рассолов от примесей и получения максимальной концентрации в рассоле NaCl.

КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫЕ СОЛИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Калий и магний широко распространены в земной коре, составляя по массе 2,6 и 2,1%, но содержатся в ней только в виде различных соединений. Основная часть их представлена разнообразными силикатами и алюмосиликатами. Значительное количество магния связано также в доломитах и реже — в магнезитах. Особое место занимают легкорастворимые соли калия и магния, связанные с галогенными формациями.

Впервые залежи легкорастворимых калийно-магниевых солей (карналлита) были обнаружены в 1857 г. в Стассфурте (Германия), а с 1861 г. была начата их добыча и переработка на различные химические продукты и удобрения. В 1913 г. на рудниках Германии было добыто 13 млн. т калийных солей. Мировая калийная промышленность сравнительно молодая отрасль, насчитывающая немногим более 115 лет.

В СССР первое месторождение калийных солей, сначала названное Соликамским по месту открытия, а затем Верхнекамским, было открыто в 1925 г. В 1932 г. начал работать первый в Советском Союзе Соликамский калийный рудник. Позднее вступил в строй Березниковокий калийный рудник и комбинат. К настоящему времени на Верхнекамском месторождении действуют уже четыре калийных комбината, строятся и проектируются новые предприятия. Работают Солигорские калийные рудники и обогатительные фабрики на Старобинском месторождении в Белоруссии, Стебникский и Калушский комбинаты на месторождениях калийно-магниевых солей в Прикарпатье.

Месторождения легкорастворимых хлоридов и сульфатов калия и магния представляют осадочные хемогенные образования, приуроченные к соленосным отложениям солеродных бассейнов. Однако из-за высокой растворимости этих солей, выпадающих из рассолов главным образом на последних стадиях галогенеза, а также из-за особенностей миграции калия и магния скопления хлоридов и сульфатов их встречаются только в части соленосных бассейнов, как правило занимая значительно меньшие площади и имея меньшие мощности, чем галит. Не-

смотря на это, запасы калийных и калийно-магниевых солей в таких бассейнах обычно очень велики и исчисляются многими сотнями миллионов и миллиардами тонн, а пласты их прослеживаются на большие расстояния.

К особенностям миграции калия следует отнести более медленное освобождение его из силикатов и алюмосиликатов при их выветривании по сравнению с кальцием и натрием. Он дольше остается в дезинтегрированных полевых шпатах и слюдах, часть его непосредственно переходит в гидрослюды. Та часть калия, которая при выветривании горных пород переходит в раствор в ионной форме, на всем пути следования его в поверхностных водотоках и в горизонтах грунтовых и напорных подземных вод до конечных бассейнов стока поглощается и довольно прочно удерживается глинами и почвами. И в этих бассейнах продолжается удаление калия из раствора с терригенным глинистым материалом и живыми организмами. Очень показательно приводимое Н. М. Страховым [41] и А. А. Ивановым [26] изменение соотношения натрия и калия: в горных породах (около 1:1), в реках (3:1) и в океане (29: 1). Это соотношение при близкой растворимости хлоридов калия и натрия в значительной степени объясняет последовательность выпадения их в осадок в галогенезе.

В характере миграции магния в гипергенных условиях также еще много невыясненного. Богатые магнием основные и ультраосновные изверженные породы в зоне гипергенеза обычно неустойчивы и при выветривании довольно быстро разрушаются, освобождая значительное количество магния. Однако очень неравномерное распределение этих, обычно глубинных пород близ поверхности земли и склонность магния образовывать в зоне гипергенеза магнезиальные силикаты приводят к тому, что в поверхностных водах многих районов содержание магния в ионной форме незначительно. По-видимому, заметная часть его удаляется из них в виде силикатов, усваивается глинами и почвами. В разных районах современной аридной зоны содержание иона магния в водах и соляных озерах различно: в одних районах — незначительное в поверхностных и грунтовых водах и рапе озер, в осадках же (главным образом, илах) присутствует в виде основных и средних карбонатов, силикатов; в других районах — повышенное в грунтовых водах и рапе соляных озер, в них нередко образуются прослои и пласты эпсомита и астраханита. Для областей питания водами таких районов, обычно на небольшом удалении от них, типично наличие массивов основных и ультраосновных пород. Обычно повышено содержание магния в сравнительно неглубокозалегающих подземных водах повышенной минерализации. Значительная часть магния в озерах и морях осаждается в виде карбонатов, образуя мощные толщи доломитов. При близких соотношениях содержаний натрия, калия и магния в земной коре, океане содержание послед-

него несколько более высокое, чем калия, но во много раз ниже содержания натрия. Более высокая растворимость хлорида магния, чем хлоридов натрия и калия, при содержании его большем, чем последнего, предопределяет выпадение в солеродных бассейнах магния совместно с калием в виде карналлита после выпадения большей части галита и только на завершающих стадиях галогенного цикла — бишофита. Интересно, что сравнительно повышенные содержания в воде магния характерны для некоторых внутриконтинентальных водоемов, например, Аральского моря. Повышено оно в Каспийском море и особенно в заливе Кара-Богаз-Гол, когда-то сообщавшихся, но давно потерявших связь с Черным морем.

Вода океана по своему составу относится к сульфатному типу, однако содержание в ней сульфат-иона очень невелико, к тому же основная часть его в солеродных бассейнах выпадает еще в подготовительную стадию в виде гипса или ангидрита, пласты которых, как правило, подстилают соленосные толщи. Значительная часть сульфат-иоиа выпадает из поверхностных и подземных вод еще на пути к морским бассейнам в засушливых районах на стадии континентального галогенеза в виде гипса, образуя гипсовые коры и загипсовывая породы на больших площадях, а также в озерных бассейнах, в которых кроме гипса может выпадать глауберит, эпсомит, мирабилит. Небольшая часть его выпадает в виде целестина.

В месторождениях калийных и калийно-магниевых солей преобладающим солевым материалом в основном является галит, запасы которого составляют от 60 до 95% от общих запасов солей месторождений. Из калийных минералов резко преобладают сильвин KCl и карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, слагающие основную часть запасов калийных солей большинства известных калийных месторождений и залегающие в них в виде пластов и слоев сильвинита и карналлитовой породы, представляющих смесь кристаллов этих минералов и галита. Другие калийные и калийно-магниевые минералы, которых насчитывается несколько десятков, обычно присутствуют в незначительных количествах. Чаще других встречаются полигалит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 X$ $X2CaSO_4 \cdot 2H_2O$, каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, лангбейнит $K_2SO_4 X$ $X2MgSO_4$. В некоторых месторождениях хлоридных калийно-магниевых солей присутствует в сравнительно больших количествах кизерит $MgSO_4 \cdot H_2O$, а в верхней части разреза — бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, завершающий галогенный цикл. В последнее время в западной части Прикаспийского соленосного бассейна нижнепермского возраста обнаружено, что верхняя часть разреза соленосной толщи на большой площади представлена пластом бишофита, мощность которого изменяется от 20 до 100 м. Он может рассматриваться как уникальное по масштабам самостоятельное месторождение хлористого магния.

Для большей части месторождений хлоридных калийно-магниевых солей типичен следующий разрез. На отложениях, отражающих постепенное осолонение морского бассейна, обычно залегает толща ангидрита различной мощности, иногда с прослоями доломитов, на которой залегает толща так называемой подстилающей каменной соли, большей частью значительной мощности, достигающей десятков и сотен метров. Соль эта иногда бывает очень чистой, но чаще сильно загрязнена ангидритом и нерастворимыми примесями. В верхней части этой толщи нередко встречается вкрапленность калийных солей, обычно представленных сильвином, реже — полигалитом. Содержание калия в отдельных слоях этой толщи редко превышает 1—2%. Выше нее обычно залегает продуктивная толща, представленная чередованием пластов и слоев каменной и калийных солей. Ее мощность и строение на разных месторождениях неодинаковы. Общая мощность толщи изменяется от первых десятков до нескольких сотен метров и включает (по М. П. Фивегу) от одного завершенного (с пластом калийных солей) и нескольких незавершенных циклов галогенеза до 10 и более завершенных циклов, заканчивающихся пластами калийных или калийно-магниевых солей, с большим или меньшим количеством незавершенных циклов. Мощность пластов калийных солей может изменяться от долей метра до 10 м и более. Мощность междупластий между ними, представленных пластами галита с прослойками ангидрита или глин, изменяется от одного до десятков метров. Содержание в междупластиях калия обычно не превышает 1—2%, магния — десятых долей процента.

Пласты калийных солей, часто называемые калиеносными горизонтами, большей частью имеют сложное строение и состоят из чередующихся слоев сильвинита или карналлита и галита, мощность которых изменяется от 0,2 до 1,5 м; при этом среднее содержание KCl в пластах сильвинита часто составляет всего 20—30%, в слоях же его оно повышается до 50% и более. Слои сильвинита нередко также состоят из прослоев сильвина со сравнительно небольшой примесью галита и прослоев галита. Мощность таких прослоев изменяется от 2 до 20 см. Содержание KCl в них может достигать 70—80%. Карналлитовая порода обычно столь мелких прослоев не образует. В более редких случаях пласт сильвинита .представляет относительно однородную породу, сложенную кристаллами галита и сильвина.

Большой практический интерес представляет характер взаимоотношений сильвина и карналлита в калиеносных горизонтах и пластах калийных солей. В Верхнекамском калиеносном бассейне наблюдается довольно четкое разделение этого горизонта на нижний сильвинитовый и верхний карналлитовый подгоризонты; к первым относятся пласты Красный I, II, III, пласт А, иногда объединяющийся с ним пласт Б, реже пласт В, ко вторым — все вышележащие пласты до Л включительно, при этом

в сильвинитовых пластах примесь карналлита занимает пестрый сильвинит, замещая пласты в целом или отдельные слои; иногда верхний, реже нижний слой пласта Б представлены карналлитовой породой, при этом только в единичных случаях слой карналлита располагается ниже слоя сильвинита. Слои сильвинита и карналлита здесь четко дифференцированы, постепенных переходов сильвинита в карналлит не наблюдается.

В Старобинском калиеносном бассейне, являющемся частью обширного Припятского бассейна, собственно калиеносные горизонты разделяются толщами каменной соли с прослоями засоленных глин, достигающими мощности 100—200 м. Мощность же горизонтов, или пластов, калийных солей невелика, составляя всего 2—5 м для II промышленного горизонта и 6—20 м для III горизонта, из которой более половины приходится на непромышленную глинисто-карналлитовую породу. II горизонт представлен здесь только сильвинитом, а залегающий под ним III горизонт включает сверху пласт глинисто-карналлитовой породы, а ниже ее пласт сильвинита, состоящий из шести слоев сильвинита и разделяющих их слоев каменной соли, с незначительной примесью магнезиальных солей. Интересно, что на Петриковском месторождении этого же бассейна в пластах и слоях сильвинита местами имеется примесь карналлита непосредственно к сильвину, но величина ее невелика.

На Карлюкском и Карабильском месторождениях Среднеазиатского калиеносного бассейна соотношения сильвина, карналлита и каменной соли существенно иные. Так пласты калийных и калийно-магниевых солей не всегда четко отделяются от разделяющих их пластов каменной соли, в которой содержится до 2—3% KCl, а переход к калийному пласту может быть постепенным. В этих месторождениях сравнительно маломощные пласты карналлитовой породы расположены в верхней части разреза, основное количество ее размещается ниже пластов сильвинита. При этом под пластами, заключающими сильвинит с незначительным содержанием $MgCl_2$ (в разных частях бассейна это пласты I, II, III, IV или III, IV, V, VI), залегают пласты сильвинита со значительным (10—15%) и большим (20—30%) содержанием карналлита и пласты карналлитовой породы с большей или меньшей примесью сильвина. В отличие от Верхнекамского и Старобинского месторождений сильвин и карналлит в пластах и слоях, как правило, не образуют самостоятельных прослоев, а кристаллы их находятся в тесном срастании. В крупных кристаллах сильвина нередко находятся включения мелких кристаллов карналлита.

На Эльтонском солянокупольном месторождении калийных солей пласты их четко отделяются от пластов каменной соли; нет здесь и постепенных переходов от сильвинита к карналлитовой породе. Мощность пластов сильвинита изменяется от нескольких до 40 м, среднее содержание в них KCl достигает 40—

43%, примесь $MgCl_2$ составляет 0,5—1,5%. Над частью пластов сильвинита залегают пласты карналлитовой породы. В некоторых местах повышено содержание кизерита, особенно в верхней части разреза. Один из пластов сильвинита не только покрывается, но и подстилается пластами карналлитовой породы.

Над продуктивной толщей, заключающей калиеносные горизонты и пласты калийных и калийно-магниевых солей, на месторождениях хлоридных калийно-магниевых солей обычно залегает толща покровной каменной соли. Мощность ее может превышать 100—200 м или сокращаться до нескольких десятков метров. Верхняя часть этой толщи иногда представляет чередование отдельных пластов каменной соли и ангидрито-гипсовых и доломито-мергельных пород, над которыми часто залегает глинисто-мергельная толща, способствующая длительному сохранению от размыва подземными водами легкорастворимых солей месторождений.

Приведенные выше примеры различных соотношений каменной соли, сильвина и карналлита свидетельствуют, с одной стороны, о многообразии процессов седиментации легкорастворимых солей, не укладывающихся в единую для всех месторождений эмпирическую схему, и о сложности и разнообразии диагенетических изменений солевых осадков при переходе их в породы, пока еще очень слабо изученных. С другой стороны, они показывают, что проблема так называемых «смешанных солей», нерешенность которой препятствует полному и эффективному использованию месторождений калийно-магниевых солей более сложна, чем ранее представлялось, и в разных калиеносных бассейнах требует неоднозначных решений.

Заслуживает внимания вопрос о выдержанности пластов и слоев калийных и калийно-магниевых солей в калиеносных бассейнах. Детальное изучение многих участков Верхнекамского и шахтных полей Старобинского месторождений показало, что не только пласты, но и слои и прослои калийных солей обладают очень высокой выдержанностью их стратиграфического положения, мощности и состава. Не только пласты, но и выделенные в них слои сильвинита, карналлитовой породы и разделяющей их каменной соли прослеживаются на многие километры. Даже прослойки сильвина с примесью галита мощностью всего 2—3 см, выделяющиеся на Старобинском месторождении, отчетливо протягиваются на сотни метров и километров. Это и не удивительно, если обратиться к условиям их осаждения из рапы обширных мелководных бассейнов с почти плоским дном при однородном ее составе, высоких величинах испарения, одинаковых для всего бассейна, единстве уровенного, термического и гидрохимического режимов как поверхностной, так и межкристальной рапы для обширных площадей.

Следует признать, что предъявлять к месторождениям природных калийных солей требования к выдержанности состава

солей в пласте в пределах 1—2% KCl или нерастворимого остатка и десятых долей процента $MgCl_2$ свидетельствуют о недостаточно высоком техническом уровне применяемых и проектируемых технологических процессов обогащения и переработки калийных солей. В той же мере это относится к участкам частичного или полного замещения сильвинита в пластах калийных солей каменной солью. При относительно небольших площадях таких замещений, не превышающих 1—1,5% общей площади бассейна, и весьма различных их размерах (от единиц метров до десятков и сотен метров в поперечнике) рекомендации некоторых геологов по сгущению сети и даже проходке горных выработок с целью выявления и оконтуривания таких замещений из-за их дороговизны и ничтожной эффективности нельзя признать оправданными. Небольшой процент площади, занимаемой зонами замещений, позволяет, используя предусматриваемый при проектированиия небольшой резерв горно-подготовительных выработок, рационально вести эксплуатацию месторождения. Для сокращения этого резерва необходимо усилить исследования по выявлению общих закономерностей размещения зон замещения, которые, несомненно, связаны с пока еще недостаточно изученными процессами диагенеза и, возможно, с условиями поступления в бассейн поверхностных и подземных вод суши с различным характером и степенью минерализации на разных участках его побережья. С ними же, очевидно, связаны содержания и характер нерастворимых примесей в калийных солях.

Выше уже указывалось на значительное преобладание хлоридов калия и магния, особенно сильвина и карналлита, над сульфатными калийно-магниевыми минералами, что соответствует преобладанию хлоридов над сульфатами в водах океана, усиливающемуся в солеродных бассейнах из-за удаления большей части сульфат-иона в виде гипса и ангидрита. Соответственно реже в соленосных отложениях встречаются скопления калийных сульфатных минералов, среди которых преобладает полигалит, и тем более месторождения, в которых калийные минералы представлены в основном каинитом, лангбейнитом и полигалитом.

Единственным в СССР калиеносным бассейном, в пределах которого детально разведаны и эксплуатируются месторождения сульфатных калийных солей, является Предкарпатский. В настоящее время эксплуатируются Стебникское и Калуш-Голынское месторождения. Кроме них в бассейне выявлено более 10 других месторождений и проявлений сульфатных калийно-магниевых солей. Здесь же функционирует Домбровский карьер, в котором открытым способом добываются калийно-магниевые соли. Поэтому основные сведения о сульфатных калийных солях и закономерностях их образования, соотношениях, минеральном составе, условиях залегания и диагенетических прев-

ращениях основываются главным образом на результатах изучения этого бассейна. Другим обширным районом с пока еще слабоизученными проявлениями и единичными месторождениями, заключающими и сульфатные калийные соли (Жилянское, Челкарское и др.), является Прикаспийская синеклиза и южная часть Предуральского прогиба, где из сульфатных калийных солей распространен преимущественно полигалит и значительно менее — кизерит, каинит, лангбейнит.

В отличие от калиеносных бассейнов с хлоридным комплексом калийных солей, характеризующихся выдержанностью пластов и свойств, калиеносные бассейны или части их, с сульфатным комплексом солей, заключают сильно изменчивые по мощности, минеральному составу и условиям залегания пласты и линзы калийно-магниевых солей со сложными соотношениями калийно-магниевых хлоридно-сульфатных солей, галита, полигалита, ангидрита, нерастворимых (в основном глинистых) примесей. Так, на Стебникском и Калуш-Голынеком месторождениях мощности пластов и линз колеблются от 1 до 150 м, выклинивание их происходит на коротких расстояниях, часто не превышающих первые километры. Здесь сравнительно небольшое место занимают сильвинит-карналлитовые породы. Значительная часть пластов и особенно линз слагается каинитом, лангбейнитом, полигалитом, галитом и кизеритом в различных соотношениях, образующих породы сложного состава: каинит-лангбейнитовые, лангбейнит-каинитовые, сильвин-каинитовые, кизерит-каинитовые, шёнит-каинитовые и другие, с меняющимися как в разрезе, так и по площади содержаниями породообразующих минералов и таких примесей, как галит, полигалит, терригенный материал, представленный глинистыми, алевритовыми и песчаными частицами, количество которого изменяется от 3 до 25%. Резкие колебания минерального и химического состава калийно-магниевых сульфатных руд, особенно нерастворимых примесей, легко- и труднорастворимых минералов, серьезно затрудняют их переработку на высококонцентрированные удобрения, поиски оптимальных решений по их усреднению и технологии обогащения и переработки.

Ознакомление с Предкарпатским калиеносным бассейном позволяет отметить интересное обстоятельство. При весьма большой протяженности этого морского пролива, длила которого только на территории СССР превышает 300 км, ширина его колеблется от 25 до 60 км. Месторождения же калийных солей в его пределах располагаются как бы отдельными озерными бассейнами, не имеющими постоянной связи между собой. При этом очертания этих бассейнов и соответствующие им линзы и пласты калийных, особенно сульфатных, солей большей частью имеют округлую форму, а иногда и вытянуты поперек длинной оси пролива. Если добавить к этому очень большую загрязненность солей терригенными примесями, свидетельствующую об

интенсивном поступлении в эти бассейны вод суши, а также непропорционально высокое, по сравнению с океаном, отношение сульфатов к хлоридам, а калия и магния к натрию, то создается впечатление, что в образовании скоплений сульфатных калийно-магниевых солей воды суши, в том числе и подземные, принимали значительно большее участие, чем считалось ранее. На то же указывает большая неравномерность в распределении мощностей, калийных минералов и примесей, которая может быть связана с поступлением в бассейны поверхностных и подземных вод неравномерно по периметру как на стадии седиментации, так и диагенеза при различном характере и степени их минерализации.

Эти предположения в известной мере подтверждаются и немногими сведениями о сульфатных калийных солях Предуральского и Прикаспийского бассейнов. В первом, протягивающемся сравнительно узкой полосой с севера на юг, они представлены в основном полигалитом, скопления которого по простиранию бассейна распределены крайне неравномерно. Во втором, сульфатные соли, среди которых также преобладает полигалит, на востоке, севере и западе бассейна приурочены главным образом к его прибрежным частям, в которые более вероятно поступление поверхностных и подземных минерализованных вод суши.

Тектонические особенности соленосных бассейнов, и в частности месторождений калийно-магниевых солей, обусловлены геологоструктурным и географическим положением этих бассейнов, большей частью расположенных в тектонически подвижных краевых частях платформ, в предгорных прогибах, склонных к длительным, но постепенным погружениям, испытывавших боковое (тангенциальное) воздействие жестких плит платформ и горных сооружений геосинклиналей, или в краевых и внутренних впадинах (синеклизах) платформ, не испытывавших такого воздействия. Эти особенности, однако, связаны не только с региональным тектоническим развитием соответствующей структурно-фациальной зоны, но и со специфическими свойствами соляных толщ, в частности таких, как низкая удельная масса (плотность), компактность сложения и пластичность, вызывающих перемещение (течение) соли под большой нагрузкой, с образованием дисгармоничной складчатости и явлений соляного диапиризма, известных под названием соляной тектоники. Важное значение в характере проявлений этих свойств солей имеют мощность пород, покрывающих соленосные отложения, глубина залегания последних, их мощность и строение: частое переслаивание солей и несоляных пород, представленных ангидритом, доломитом или глинистыми породами; мощные толщи однородной по составу соли или чередование галита с сильвинитом или карналлитом и т. п. В зависимости от характера сочетания степени воздействия внешних и внутренних факторов на тектонику

калиино-магниевых месторождении условия залегания солей в них очень разнообразны. Так, на Старобинском месторождении пласты калийных солей залегают почти горизонтально или очень полого; не только слои в них, но и тонкие прослои залегают согласно, без заметных нарушений; имеются лишь сбросы с амплитудой от нескольких до десятков метров в периферических частях калиеносного бассейна и отдельные зоны, сопровождающиеся брекчированием пород внутри него.

На Верхнекамском месторождении подсолевые отложения, образующие Соликамскую впадину, залегают весьма спокойно, полого погружаясь к ее центральным частям. На площади месторождения в среднем (соляном) структурном подэтаже выявлены брахиантиклинальные соляные поднятия, чередующиеся с впадинами и прогибами, протягивающиеся в направлении, близком к меридиональному, с превышениями рельефа кровли соляной толщи до 200 м и более, с крутыми (4—15°) западными крыльями и пологими (1—2,5°) восточными. Эту структурную особенность сохраняет и внутриформационная складчатость третьего, четвертого и более высоких порядков, вплоть до микроскладчатости в отдельных пластах, слоях сильвинита и прослойках его, переходящих в гофрировку и плойчатость, нередко сильноусложненных с заметными явлениями микродиапиризма. В пластах карналлитовой породы, которая здесь нередко имеет брекчиевидное строение, наблюдаются обломки пестрого сильвинита, каменной соли, соленосных глин, внедрение которых в карналлитовую породу, отличающуюся по своим механическим свойствам, очевидно происходило в процессе складкообразования и неравномерного смятия слоев этих пород с нарушением их сплошности, что вызывало в свою очередь и брекчирование карналлитовой породы.

В покрывающих соленосную толщу породах отражаются основные черты тектоники соленосной толщи. Однако складчатые структуры здесь менее сложны и не повторяют деталей складок высоких порядков и тем более — микроскладок, наблюдающихся в солях. Усложнение складок и микроскладок в соляных толщах, их своеобразие в значительной степени связано с пластическими перемещениями и выжиманием солей, смятием, так называемым течением, создающим раздувы и утолщения в шарнирах складок и утонения слоев на их крыльях. При этом пликативные нарушения часто переходят в дизъюнктивные.

На примере Стебникского месторождения можно видеть, как эти специфические особенности соляной тектоники, захватывающие на Верхнекамском месторождении главным образом складки высоких порядков и микроскладки, в соленосной толще иного строения и при другом характере воздействия на нее внешних сил, проявляются отчетливо и в крупных складчатых, особенно в антиклинальных, структурах. Наиболее ярко соляная тектоника выражена в солянокупольных структурах, когда находящие-

ся под давлением вышележащих пород толщи солей, залегающие на большой глубине, при тангенциальных воздействиях на них, вызывающих образование антиклинальных поднятий, переходят в своеобразное «пластическое» состояние и начинают «течь», т. е. перемещаться в вертикальном направлении, разрывая ядра ранее образовавшихся антиклиналей, внедряясь в более молодые породы, как бы протыкая и раздвигая их. Обычно это вызывает уменьшение мощности толщи соли в понижениях и впадинах, питающих растущую солянокупольную структуру. В пределах соляных кополов или более крупных структур пласты каменной соли и калийных солей залегают преимущественно вертикально под крутыми углами, образуя сложные дисгармоничные складки, но, как показывает изучение Челкарской, Индерской и Эльтонской структур, сохраняют стратификацию значительной части соляной толщи, особенно в краевых частях солянокупольной структуры. К настоящему времени характер закономерностей складкообразования в центральных частях таких поднятий еще слабо изучен: не ясны формы складок, соотношение пликативных и дизъюнктивных нарушений, закономерности изменения мощностей пластов различных солей в процессе «течения» солей.

Большая часть известных солянокупольных структур имеет «корни», т. е. пологозалегающие соленосные породы, за счет которых происходит рост таких структур на глубинах 4—9 км. При более мелком их залегании обычно наблюдаются брахиантиклинальные структуры дисгармоничного типа без существенных внедрений в покрывающие породы.

Как указывалось выше, магниевые соли в настоящее время добываются попутно с калийными в виде карналлита при разработке месторождений ископаемых калийно-магниевых хлоридных солей или в виде сульфатов магния и руд бишофита (полученного при переработке) в месторождениях калийно-магниевых сульфатных солей или из рассолов в современных озерах. Запасы солей магния в заливе Кара-Богаз-Гол поистине неисчерпаемы и при полной комплексной переработке рассолов в более крупных масштабах, чем сейчас, они могли бы обеспечивать основную часть потребности в высококачественной окиси магния более чистой, чем из высших сортов магнезита. В последние годы начал работать опытный рассолопромысел в Поволжье, получающий насыщенный $MgCl_2$ рассол подземным выщелачиванием пласта бишофита.

ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К КАЧЕСТВУ КАЛИЙНЫХ И МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

Основная часть калийных и калийно-магниевых солей (более 95%) применяется в сельском хозяйстве в качестве удобрения. До последнего десятилетия для удобрения почв использовались

в основном так называемые стандартные туки, содержащие 65% KCl или 42% K_2O и более 30% NaCl, а иногда даже сырой сильвинит. Туки получали смешением заводского KCl с сырыми солями. Такое использование хлористого калия не способствовало повышению содержания в нем основного вещества и улучшению его качества.

Для удобрения почв под культуры, на которые ион хлора действует угнетающе или ухудшает их качество, в небольших количествах применялись сульфатные калийные или калийно-магниевые удобрения, представляющие каинитовый или лангбейнитовый концентрат, получавшийся после несложного, но малоэффективного обогащения, с низким содержанием основного вещества и высоким — балластных и таких вредных примесей, как галит. Для увеличения содержания в них калия добавлялся KCl и даже сильвинит. Считалось нормой, что содержание K_2O в сульфатном калийно-магниевом концентрате составляет 19 и даже 17,5%, MgO — соответственно 9 и 8%. Такой концентрат выпускается и до настоящего времени.

В условиях дефицита калийных удобрений сельское хозяйство длительное время устраивали эти невысокого качества удобрения. Создавшееся положение не стимулировало высоких требований к хлористому калию, увеличения выпуска товарного хлористого и сернокислого калия, разработки и внедрения такой технологии переработки ископаемых солей, которая, учитывая и используя вещественный состав и технологические свойства сырья конкретных месторождений, обеспечивала бы получение из него товарного хлористого и сернокислого калия высокого качества, соответствующих мировым стандартам. В результате вновь строившиеся и проектировавшиеся предприятия нередко не учитывали конкретных особенностей сырья и геологических параметров месторождений, создавались по стандартным схемам, не обеспечивавшим наиболее эффективного их использования, высокого выхода и качества продукции.

Следовательно, геологи, проводившие разведку месторождений в соответствии с требованиями промышленности, совершенно недостаточно исследовали вещественный состав и свойства солей, закономерности их распределения на месторождении, не всегда в достаточном объеме изучали даже полный валовой химический состав солей, тем более, что кондициями на соли месторождений лимитировалось только содержание калия и магния, а содержание нерастворимых примесей практически не ограничивалось. Незаинтересованность технологических и проектных институтов в материалах о закономерностях распределения на месторождении различных структурных разностей солей с разным вещественным составом их и нерастворимого остатка, который как компонент, влияющий на обогатимость вообще недооценивался, приводила к тому, что все эти исследования при разведке считались излишеством, исключались из

смет и осуществлялись лишь энтузиастами в малых объемах. Сложилось такое положение, что керн жестко лимитируемого числа скважин при разведке и дальнейших исследованиях использовался нерационально: от него брали менее 10% заключенной в нем информации, к тому же носившей в основном описательный, часто субъективный характер. В результате месторождения, переданные промышленности и принятые ею, оставались неохарактеризованными по ряду важных для глубокого обогащения параметров.

В связи с усилением химизации сельского хозяйства, резким увеличением выпуска минеральных, в том числе и калийных, удобрений, повышением их качества и содержания действующего вещества, выпуском высокоэффективных гранулированных и крупнокристаллических, неслеживающихся, а также комплексных удобрений повышены требования к продукции калийных предприятий.

Качество хлористого калия, производимого в СССР, регламентируется ГОСТом 4568—74, в котором предусматриваются требования к хлористому калию марки К, получаемому кристаллизацией из раствора, и марки Ф — флотационной переработкой калийных солей (табл. 3).

Таблица 3

Показатели	Технический				Для сельского хозяйства	
	Марка К		Марка Ф			
	сорт первый	сорт второй	сорт второй	сорт третий	сорт первый	сорт второй
Хлористый калий, на сухое вещество, % (не менее)	98	95∓1	95∓1	91∓1	95∓1	91∓1
Влага, % (не более)	1	1	1	1	1	1
NaCl, % (не более)	1,4	4,5∓1	4,5∓1	7∓1	Не нормируется	
Нерастворимый в воде остаток, % (не более)	0,2	Не нормируется			Не нормируется	

Хлористый калий, поставляемый сельскому хозяйству, должен быть неслеживающимся. Наряду с мелкокристаллическим хлористым калием предусматривается выпуск гранулированного, или крупнокристаллического, хлористого калия марок К и Ф. Содержание в третьем и втором сортах этого продукта частиц класса 4—2 мм должно составлять не менее 80% и клас-

са 2—1 мм — не более 20%. Предприятиями химической промышленности сейчас выпускается в основном продукт второго и третьего сортов. Следует ожидать, что в недалеком будущем в хлористом калии будет лимитироваться и содержание $MgCl_2$, влияющего на слеживаемость продукта.

Сульфатно-калийные удобрения в СССР сейчас выпускаются в виде сульфата калия, калимагнезии (двойной соли сульфатов калия и магния) и калийно-магниевого концентрата, упоминавшегося выше, получаемого флотационным обогащением каинит-лангбейнитовой руды.

Сульфат калия, получаемый пока в небольших количествах, по технологии, разработанной ВНИИГом, должен содержать (в процентах на сухое вещество): K_2O для I сорта не менее 50, для II сорта 45, иона хлора соответственно не более 0,5 и 2,0.

Калимагнезия, в сответствии с техническими условиями должна содержать (в процентах на сухое вещество): K_2O (не менее) для I сорта 30, для II сорта 28; MgO соответственно 10 и 8; иона хлора для I сорта не более 2, для II сорта не регламентируется.

Единых технических условий на калийные и калийно-магниевые соли, поступающие для переработки на хлористый калий, сульфат калия и другие калийные и калийно-магниевые удобрения, не имеется. Для отдельных месторождений Министерство химической промышленности устанавливало требования к качеству калийных и калийно-магниевых солей, носившие временный характер, но использовавшиеся длительное время предприятиями и геологами, разведывавшими месторождения. Так, этими техническими условиями, в соответствии с которыми были утверждены ГКЗ балансовые запасы по нескольким участкам Верхнекамского месторождения (Березовскому, Дурыманскому, Соликамскому), предусматривались следующие требования. Породы должны содержать: 1) сильвинит не менее 22% KCl и не более 1% $MgCl_2$; 2) карналлитовая порода не менее 17% $MgCl_2$; 3) смешанные соли не менее 30% KCl + $+MgCl_2$, в том числе не менее 22% KCl и не менее 5% $MgCl_2$.

Позже, по участкам Балахонцевскому, Быгельско-Троицкому, Новосоликамскому, переоцененным Березниковскому, Соликамскому и другим, запасы солей (балансовые) утверждались ГКЗ СССР по кондициям, утвержденным Госпланом СССР в 1960 г. и согласованным с Министерством химической промышленности СССР. Этими кондициями предусматривались следующие требования: в пластах сильвинита должно быть KCl не менее 22% в целом по блоку и 15% по его пересечению скважиной; $MgCl_2$ соответственно не более 1 и 5%; в пластах карналлитовой породы — $MgCl_2$ по блоку не менее 17%; для пластов смешанных солей — по блоку не менее KCl 22%, $MgCl_2$ 1%.

Кондициями, утвержденными Госпланом СССР в 1961 г. для Старобинского месторождения, предусматривалось, что в

пласте сильвинита должно быть KCl не менее 16%, нерастворимого остатка не более 10% и $MgCl_2$ 3%.

Таким же путем в разные годы устанавливалось минимально допустимое содержание K_2O для Стебникского, Калуш-Голынского и Жилянского месторождений, где в калийно-магниевых сульфатных солях допускалось 7; 8; 9%, иногда даже 10% K_2O, а содержание нерастворимого остатка допускалось до 14 и даже до 18%.

К сожалению, приведенные выше предельные содержания компонентов солей по месторождениям, как правило, недостаточно обоснованы экономически и не подкреплены конкретными оптимальными технологическими решениями, часто не вполне соответствующими особенностям сырья участка или месторождения. Можно полагать, что в недалеком будущем большая часть их будет пересмотрена.

Анализ характера смешанных солей на разных месторождениях показывает, что к этой группе относились пласты солей, неодинаковые по строению и составу. На Верхнекамском месторождении в нее включен, например, объединенный пласт АБ, заключающий слои сильвинита и слой карналлита мощностью 0,8—1,2 м, которые могут быть добыты селективно, т. е. смешанных солей здесь по существу нет. На Карлюкском и в отдельных пластах Петриковского месторождения, напротив, срастание сильвина и карналлита настолько тесное, что механическое разделение их вряд ли возможно. Для этого необходимо полное или частичное растворение смешанных солей после или до удаления галита, на холоду или в горячем щелоке, с садкой сильвина или карналлита. Все эти технологические процессы переработки солей с повышенным содержанием магния практически разработаны. В частности, в ГДР и ФРГ калийной промышленностью перерабатываются на хлористый калий не только сильвиниты с повышенным содержанием карналлита или хартзальц (сильвин, галит, кизерит, ангидрит), но и карналлитовые породы.

Калийная промышленность СССР пока перерабатывает только сильвинит с низким содержанием магния. Карналлитовые породы добываются в сравнительно небольшом объеме, только для получения искусственного карналлита, используемого в магниевой промышленности; хлористый калий из карналлита не вырабатывается; полигалит сейчас специально не разрабатывается, а его примесь в калийно-магниевых сульфатных солях удаляется в отвал. Это свидетельствует о недостаточно полном и нерациональном использовании недр, в которых запасы маломагнезиального сильвинита ограничены. Нет сомнения, что в ближайшем будущем это положение будет исправлено. Выявление гранулометрического и вещественного состава нерастворимого остатка и закономерностей его распределения поз-

воляет применять технологические процессы эффективного его удаления.

Опыт работы калийной промышленности в СССР и за рубежом, а также ознакомление с исследованиями по технологии переработки калийных солей свидетельствуют о практической возможности эффективной переработки всех ныне выявленных и разведанных разностей калийных и калийно-магниевых солей. Различна лишь степень эффективности их освоения, особенно в первые годы работы нового предприятия, что ставит на первое место очередность и сроки освоения новых месторождений. Поэтому в дальнейшем, очевидно, требования к качеству калийных солей в недрах и добытых из них будут полнее отражать особенности сырья конкретных месторождений и выражаться в кондициях на сырье этих месторождений или их крупных участков, более глубоко обоснованных технико-экономическими расчетами и надежно подкрепленных лабораторными и полупромышленными исследованиями технологии переработки сырья именно этих месторождений и выбором оптимальной технологической схемы переработки его, учитывающей наиболее полное и комплексное использование сырья.

Разнообразные области использования магнезиальных солей предъявляют к ним самые различные требования, но в настоящее время месторождения чисто магниевых солей практически не эксплуатируются; они получаются попутно при переработке калийно-магниевых солей, рассолов залива Кара-Богаз-Гол и других современных соляных озер, при которой возможно регулировать качество получающихся товарных солей независимо от состава первичного сырья. Упоминавшиеся выше предельные содержания $MgCl_2$ в карналлитовой породе, составляющие 18 и 17%, или MgO в сульфатных калийно-магниевых солях 8—10%, при необходимости могут быть снижены. В настоящее время производится опытная добыча хлор-магниевых рассолов, получаемых подземным выщелачиванием пласта бишофита. Ее результаты позволят разработать требования к этому сырью.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Выше, при характеристике процессов соленакопления и классификации солеродных бассейнов указывалось, что отложения калийных и калийно-магниевых солей обычно завершают цикл соленакопления, но в силу ряда причин большая часть циклов остается незавершенной и поэтому во многих соленосных бассейнах эти отложения отсутствуют. Образование же месторождений калийно-магниевых солей требует сочетания еще большего числа благоприятных факторов и условий, с чем связана их меньшая распространенность, по сравнению с месторожде-

ниями каменной соли, не содержащими пластов калийных и магниевых солей.

В группе современных и четвертичных месторождений солей месторождения калийно-магниевых солей крайне, редки, калиеносность их невелика и запасы незначительны. Интересно, что среди немногих представителей их по крайней мере два — оз. Цархан в Цайдамской впадине и оз. Сирлес в Калифорнии — представляют образования континентального происхождения. Первое содержит слой галит-карналлита мощностью 0,5—0,6 м, второе — калийсодержащие рассолы. Незначительная пока садка карналлита наблюдалась в заливе Кара-Богаз-Гол. Месторождение Масли (Эфиопия), приуроченное к Данакильской депрессии, очевидно образовалось в результате испарения морской воды, поступавшей во впадину из Красного моря до ее отшнурования и отчасти за счет континентальных источников, в частности выноса солей из глубин при незатихшей еще вулканической деятельности. Соли здесь представлены сильвинит-каинитовыми разностями с местными скоплениями карналлита.

А. А. Иванов [26] отмечает отсутствие закономерного направленного изменения минерального состава калийных пород в течение геологической истории, начиная с кембрия и до настоящего времени.

В группе древних ископаемых месторождений калийно-магниевых солей месторождения явно континентального происхождения не встречены. По данным А. А. Иванова [26], месторождения калийно-магниевых солей морского генезиса известны в трех типах галогенных формаций: морских заливах, бассейнах краевых частей эпиконтинентальных морей и внутриконтинентальных бассейнах морского типа. Отсутствуют они только в формациях лагунного типа. К внутриконтинентальным бассейнам морского типа приурочены наиболее крупные месторождения.

Месторождения калийно-магниевых солей обнаружены практически во всех геологических периодах, от кембрия до четвертичного периода. В СССР наиболее калиеносны девон, пермь, юра и неоген. Основные калийные минералы в разных количествах и соотношениях обнаруживаются как в самых древних, так и самых молодых калиеносных бассейнах. Наиболее широко распространен сильвин, встречающийся почти во всех месторождениях. На втором месте, лишь немного уступая сильвину, находится карналлит; на третьем — полигалит. Каинит и лангбейнит распространены значительно меньше. Из магниевых солей кизерит встречается несколько чаще каинита и лангбейнита, а бишофит — реже. Остальные минералы встречаются редко.

По минеральному составу все месторождения калийных солей обычно делятся на две основные группы: бессульфатных и сульфатных месторождений.

Бессульфатные месторождения распространены значительно шире, чем сульфатные. По своему минеральному составу они большей частью просты. Калийные и калийно-магниевые минералы в них представлены только сильвином и карналлитом, значительно реже — бишофитом. В отдельных случаях в них имеется незначительная примесь полигалита или кизерита. Из сульфатных минералов в значительных количествах в них присутствует ангидрит, изредка — гипс. В некоторых месторождениях резко преобладает сильвин, в других — карналлит; иногда они встречаются в почти равных соотношениях, как на Верхнекамском, так и на Карлюкском месторождениях. Для всех этих месторождений характерна сравнительно высокая выдержанность пластов, слоев и прослоев калийных солей по мощности и составу на значительные расстояния.

Сульфатные месторождения имеют сравнительно ограниченное распространение. В СССР основная часть их приурочена к Предкарпатскому бассейну. Они имеют сложный минеральный состав и представлены водными и безводными, простыми и сложными хлоридами и сульфатами калия, магния, натрия и кальция, из которых преобладают каинит, лангбейнит, сильвин и карналлит, иногда — полигалит. Имеются и месторождения, представленные только полигалитом, но они еще мало изучены. Детально разведано только Жилянское полигалитовое месторождение в Казахстане; соленосные отложения здесь прослежены в субмеридиональном направлении, выклиниваются на восток, а на западе срезаны надвигом, плоскость которого проходит параллельно шарниру артинской антиклинали. Соленосные отложения сложно дислоцированы, пласты более жестких пород, в частности ангидрита и полигалита, разорваны на отдельные блоки. Калиеносные породы представлены двумя горизонтами: нижним — полигалитовым, мощность пластов которого достигает 20 м, и верхним — сильвинитовым с пластами сильвинита и сильвинит-карналлита. Горизонты разделены толщей каменной соли с пластами ангидрита и терригенных пород.

На сульфатных калийных месторождениях Предкарпатского прогиба, подробно описанных А. А. Ивановым [27], М. Г. Валяшко [6], К. Б. Донченко [24], С. М. Кореневским и М. Л. Вороновой [32], С. М. Кореневским и К. Б. Донченко [33] и многими другими, размещение калиеносных залежей очень сложное, от пластово-линзовидных до линзовидных тел; наблюдаются частые фациальные переходы между солями разного минерального состава, резко меняются на коротких расстояниях мощность (от 1 до 120 м) и содержание основных компонентов и примесей, особенно терригенного материала. Преобладающими являются линзы лангбейнит-каинитовых, каинит-лангбейнитовых, каинитовых, сильвин-каинитовых, кизерит-каинитовых пород. Имеются линзы сильвинитов, иногда с карналлитом, иногда с полигалитом. Эти линзы залегают в сильнобрекчирован-

ных породах, представленных галитом с большим количеством терригенного материала, карбонатов и ангидрита, которые содержатся и в самих линзах, часто располагающихся многоярусно и сложнодислоцированных. Проявления соляной тектоники здесь сильно усложнены из-за перемежаемости пород разной жесткости.

Бессульфатные (или хлоридные) и сульфатные месторождения, кроме различной степени выдержанности состава и свойств солей (для последних она на порядок ниже), различаются также масштабами и формой тел калийных солей. Если, во-первых, они представляют пласты и слои, хорошо стратифицированные и прослеживающиеся на десятки километров без существенных и резких изменений мощности и состава (не считая, разумеется, изменений, наложенных на них пликативными и дизъюнктивными нарушениями, особенно связанными с соляной тектоникой), то во-вторых, это главным образом линзообразные тела и линзы, выклинивающиеся на коротких расстояниях, плохо стратифицирующиеся из-за перемежаемости, кулисообразного расположения и небольших размеров. Неодинаковы в них содержание и характер распределения нерастворимых и труднорастворимых примесей.

В бессульфатных месторождениях в среднем содержание нерастворимых в воде примесей значительно ниже, чем в сульфатных, однако на отдельных участках их оно повышается до значительных величин, достигая 10 и даже 15%. Более высокие содержания их редки. В условиях больших площадей занимаемых бессульфатными месторождениями, унаследованных от солеродных бассейнов морского облика, в которых повышенные содержания нерастворимых примесей в солях имеют определенные закономерности распространения и большей частью связаны с близостью к прибрежным частям или участкам выноса терригенного материала с берегов или зонам смешения, они, как правило, могут выявляться при проведении разведочных работ.

В сульфатных месторождениях, судя по известным калиеносным бассейнам, относительное содержание нерастворимых примесей выше и нередко достигает 10—20% и более. При этом состав нерастворимых примесей здесь разнообразнее и колебания его более резки. Выявление же закономерностей его распределения затруднено сравнительно небольшими площадями месторождений, близостью бассейнов, в которых они образовывались, к размывавшейся суше, откуда сносилось большое количество терригенного материала.

Промышленная типизация месторождений калийно-магниевых солей в настоящее время широко обсуждается и переоценивается, что вполне оправданно и своевременно, учитывая большое число новых сведений о соленакоплении, калиеносности и калиеносных бассейнах, полученных при усиленном изучении их, разведке и эксплуатации.

Месторождения калийно-магниевых солей по размерам и морфологии соляных залежей, сложности их внутреннего строения и условий залегания, выдержанности мощности, качества и технологических свойств калийно-магниевых солей в соответствии с инструкцией ГКЗ СССР можно разделить на четыре основных типа.

1. Пластовые, выдержанные по мощности, условиям залегания, качеству и технологическим свойствам калийных и магниевых солей.

2. Пластово-линзообразные, сравнительно выдержанные по мощности, качеству и технологическим свойствам солей.

3. Пластово-линзообразные и линзообразные, не выдержанные по мощности и строению, не устойчивые по качеству и технологическим свойствам калийно-магниевых солей.

4. Солянокупольные структуры, не выдержанные по мощности и строению калийно-магниевых отложений, не устойчивые по качеству и технологическим свойствам калийно-магниевых солей.

К первому типу относятся месторождения, в которых калиеносные горизонты и пласты прослеживаются на десятки километров, залегают горизонтально, слабонаклонно или в виде сравнительно пологих складок, со сравнительно небольшой амплитудой колебаний мощностей продуктивных пластов, содержаний полезных и вредных компонентов. К этому типу могут быть отнесены Верхнекамское и Старобинское месторождения. Основные «рабочие» горизонты и пласты на эксплуатируемых участках и шахтных полях этих месторождений отличаются высокой выдержанностью, о чем свидетельствуют сопоставления их мощностей и содержаний в них основных компонентов по данным детальной и эксплуатационной разведок. Так, на участках Верхнекамского месторождения при равной 2—4 м мощности пластов, расхождения обычно не превышали 0,3 м; содержание KCl, при 25—35% отличалось всего на 1—1,5%; содержание нерастворимого остатка также отличалось на 1—1,5%; почти не было расхождений по содержанию $MgCl_2$, разумеется не считая случаев, когда один из этих пластов АВ мощностью более 0,7 м был частично или полностью представлен карналлитовой породой.

Учитывая значительное усложнение строения и ориентировочную его расшифровку скважинами, пробуренными с поверхности земли, для месторождений, на которых продуктивные горизонты залегают в виде пологих складок, осложненных соляной тектоникой, целесообразно в первом типе выделить два подтипа:

а) пластовые месторождения с незначительной тектонической нарушенностью продуктивных пластов и слабыми проявлениями соляной тектоники (Старобинское месторождение);

б) пластовые месторождения с более сложным геологическим строением, в которых продуктивные пласты залегают в виде пологих складчатых структур, заметно осложненных проявлениями соляной тектоники (Верхнекамское месторождение).

Как показали детальные исследования приведенных месторождений, замещения пластов калийных солей каменной солью занимают не более 1 % площади, а сильвинитов смешанными солями — значительно менее 10% площади одного из пластов. Площади и конфигурация их имеют существенное значение при планировании выемочных работ и могут определяться при эксплуатационной разведке.

Ко второму типу относятся месторождения, в которых калиеносные горизонты прослеживаются на десятки километров, но в их пределах степень калиеносности непостоянна; пласты калийных солей имеют линзовидный характер, выклиниваются на расстоянии нескольких километров, замещаются линзами каменной соли, объединяются с выше-или нижележащими линзами калийных солей или снова образуют самостоятельные линзы; в них больше, чем в месторождениях первого типа, амплитуда колебаний мощностей пластов калийных и калийно-магниевых солей, содержаний в KCl $MgCl_2$ и нерастворимых примесей, что свидетельствует об ином характере развития солеродного бассейна и о диагенетических превращениях солей.

К этому типу могут быть отнесены Карлюкское и Карабильское месторождения верхнеюрского калиеносного бассейна, приуроченные к брахиантиклинальным поднятиям и их крыльям, с пологими углами падения и незначительными проявлениями соляной тектоники, главным образом в приразломных зонах. Пласты калийных солей здесь представлены в основном сильвинитами в верхней и средней частях разреза калиеносной толщи и сильвинит-карналлитовыми породами — в нижней; только самый верхний пласт небольшой мощности также слагается карналлитовой породой.

В подстилающей и разделяющей пласты калийных пород каменной соли наблюдается неравномерная вкрапленность сильвина и карналлита, поэтому границы пластов не всегда отчетливы. В широких пределах изменяются содержания в промышленных пластах KCl от 10 до 70%, но в среднем по значительным площадям они составляют 21—27%; $MgCl_2$ от 0,04 до 5%, в отдельных случаях до 14%, но в среднем для значительной части площади не превышают 1,5%; нерастворимых примесей — большей частью до 6%, но в отдельных случаях до 15%; в некоторых пластах повышено содержание $MgCl_2$, в среднем составляющее около 8%. Мощности пластов колеблются от 0,3 до 30 м, составляя в среднем по 3—5 м. При столь больших амплитудах колебаний состава и мощностей пластов на месторождениях выделяются достаточные для строительства крупного комбината площади и запасы сильвинита кондицион-

ного качества и хорошей выдержанности, разумеется требующие некоторого усреднения сырья. Больше и лучшего качества запасы солей Карабильского месторождения.

К третьему типу относятся месторождения калийно-магниевых солей в основном сульфатной группы, подобные упоминавшимся выше для Прикарпатского калиеносного бассейна. Для них характерно главным образом линзообразное, реже — пластово-линзообразное строение калийно-магниевых залежей, представленных сульфатными, хлоридно-сульфатными и хлоридными солями, с сильноменяющимся минеральным и химическим составом солей и нерастворимых примесей, нередко на протяжении сотен и даже десятков метров. Для подобных месторождений типично чередование линз разного состава и сложная пликативная и дизъюнктивная тектоника калиеносных горизонтов. По сравнению с ними полигалитовые месторождения по имеющимся пока предварительным данным о северном и восточном обрамлении Прикаспийской синеклизы, а также о Жилянском месторождении, имеют или могут иметь более выдержанный состав солей, пластово-линзообразную форму тел полезного ископаемого большей протяженности и с более плавными изменениями их мощностей. Поэтому представляется целесообразным в третьем типе выделить два подтипа:

а) пластово-линзообразные месторождения, главным образом полигалитового состава;

б) линзообразные месторождения со сложным составом калийно-магниевых солей, часто меняющимся на коротких расстояниях.

К четвертому типу относятся месторождения калийно-магниевых солей, приуроченные к солянокупольным структурам, сложное строение которых и пока недостаточно выясненные закономерности подъема из глубин к поверхности соляных масс, содержащих наряду с галитом, иногда ангидритом пласты калийно-магниевых солей с различными физическими свойствами, соотношение пликативных различных форм и дизъюнктивных дислокаций заставляют говорить о невыдержанности мощности и строения, неустойчивости их качества. Однако изучение Индерской и Эльтонской солянокупольных структур уже позволяют сделать предварительные выводы о том, что в пределах по крайней мере очень крупных структур пласты калийных и калийно-магниевых солей в отдельных частях этих структур сохраняют достаточно высокую выдержанность мощностей и состава и могут служить объектом промышленной эксплуатации. Они имеют свои преимущества по сравнению с месторождениями первого типа, залегающими почти горизонтально и занимающими большие площади, подземная разработка которых часто вызывает просадки на поверхности земли, необходимость оставления до 90% полезного ископаемого в целиках и безвозвратные его потери. То же относится и к разработке калийных

солей методами выщелачивания. При крутопадающих пластах в пределах солянокупольных структур достаточно большой мощности и высокого качества эксплуатация их может быть высокоэффективной.

По классификации запасов твердых полезных ископаемых, утвержденной в 1960 г., и инструкции по ее применению к месторождениям ископаемых солей, утвержденной в 1961 г., месторождения I и II типов относятся к I группе, в которой составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих предприятий должно производиться только при наличии утвержденных ГКЗ балансовых запасов, не менее 30% которых разведано по категориям А и В, в том числе не менее 10% по категории А. Накопленный за последние десятилетия опыт разведки и освоения калийных месторождений показывает, что для ряда участков Верхнекамского и Старобинского месторождений выявленные проходимыми с поверхности скважинами запасы калийных солей, отнесенные при детальной разведке к категориям А и В, подтверждаются с детальностью, необходимой для отнесения их к этим категориям по количеству и качеству, несмотря на существенные методические недостатки разведочных работ и использование очень малой части информации из тех объемов ее, которые могли бы быть получены при геологически и технологически более грамотном ведении работ. В то же время этот опыт показывает, что применяемые для этой цели разведочные сети на отдельных участках месторождений, особенно осложненных складчатыми структурами и в пластах с переходами части слоев из сильвинитовых в карналлитовые или обратно, не обеспечивают детализации условий залегания этих пластов и участков, необходимой для категории А, и, следовательно, требуют больших объемов эксплуатационных разведочных работ, а сами участки, иногда пласты, отнесения их ко II группе, для которой запасы категории А при детальной разведке не выявляются, а запасы по категории В должны составлять не менее 20% общих запасов. Это подтверждается и многочисленными статистическими исследованиями плотности сети, в том числе В. И. Раевского [39], в которых доказывается, что разведочная сеть, в частности на Верхнекамском месторождении, для отнесения запасов к категории А должна быть всего в 2—2,5 раза более плотной, чем рекомендуемая инструкцией ГКЗ. По-видимому, наиболее часто к I группе должны относиться месторождения, участки, пласты подтипа А I типа, а ко II группе — подтипа Б.

По тем же соображениям очевидно целесообразно месторождения II типа, как правило, относить ко II группе, оставляя в I группе только более выдержанные по мощности, качеству солей и условиям залегания месторождения, участки и пласты пластово-линзообразного характера.

Месторождения **III** типа, в том числе все месторождения и участки подтипа А пластово-линзообразного характера и часть более выдержанных по качеству, мощности и строению, более крупных месторождений линзообразной формы подтипа Б могут относиться ко **II** группе, а наиболее невыдержанные, в основном линзообразные,— к **III** группе.

Месторождения **IV** типа, как и наиболее сложные месторождения **III** типа, требуют радикального изменения методики разведки и по крайней мере выяснения закономерностей распределения и условий залегания пластов и линзовидных тел калийных и калийно-магниевых солей в пределах солянокупольных структур и других сложных образований, связанных с интенсивными проявлениями соляной тектоники, перехода к детальной подземной разведке с проходкой подземных горных выработок для выявления запасов по категории В. В этом случае большая часть их может быть отнесена ко **II** группе.

ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ И ДЕТАЛЬНАЯ РАЗВЕДКИ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

Поисковые работы. Все залежи калийных и калийно-магниевых солей приурочены к соленосным формациям и занимают в них (по сравнению со всеми соленосными породами и каменной солью) по площади распространения и мощности, как правило, подчиненное положение, но с разными соотношениями между ними. Во многих формациях калийные соли проявляются только в виде незначительной вкрапленности или вообще отсутствуют. Поэтому непосредственным поискам калийных солей должно предшествовать выявление и изучение соленосных формаций, выяснение их общего геологического строения и солевого состава, распространения и признаков калиеносности.

Эта задача должна решаться в основном на стадиях региональных геофизических работ, региональной геологической съемки в масштабе 1:200 000, глубинного геологического картирования и составления прогнозных карт на выявление соленосных формаций, а из них — перспективных для выявления в них калийно-магниевых солей. Очень большое значение для выполнения этой задачи имеет максимально полное использование результатов бурения скважин на нефть и газ, опорных, структурных и других, глубиной до 3—5 тыс. м. Соленосные породы, хорошо отражающиеся на диаграммах каротажных исследований, могут быть прослежены на глубинах, недоступных для обычных картировочных скважин. К сожалению, пласты и горизонты калийных солей, обычно имеющих небольшую мощность, отражаются слабо из-за большой скорости каротажа и соответственно малого масштаба диаграмм. В дальнейшем це-

лесообразно при каротаже соленосных толщ учитывать и интересы, связанные с поисками калийных солей.

То же следует сказать и о значительной части уже проведенных региональных исследований, которые довольно редко в достаточной степени для поисков освещают и интерпретируют соленосные и особенно калиеносные отложения, представляя, однако, большой интерес для исследователя как источник богатого фактического материала и косвенных признаков соленосности и калиеносности. Поэтому полевым поисковым работам должны предшествовать предполевые камеральные работы, в задачу которых входит сбор и обобщение обширных литературных и фондовых материалов, результатов геологических съемок и других исследований самых различных назначений, с целью выработки рекомендаций для проведения полевых поисков месторождений калийных солей в конкретных районах.

Выше были приведены разработанные А. А. Ивановым [26] поисковые предпосылки, косвенные и прямые поисковые признаки для выявления ископаемых месторождений солей, в том числе и калийных. Поисковые признаки последних приводятся в работах М. П. Фивега [45], С. М. Кореневского [31] и др.

К геологическим предпосылкам нахождения в соленосных формациях калийно-магниевых солей относится увеличение мощности толщи солей на участках, испытывавших наибольшее конседиментационное прогибание в процессе садки солей в виде впадин и прогибов в пределах солеродного бассейна. Калийные соли, которые формировались в заключительные этапы устойчивого и мощного соленакопления, с наибольшей вероятностью могут быть приурочены именно к таким участкам.

Как геологическую предпосылку можно рассматривать приуроченность наиболее мощного галогенеза к определенным стратиграфическим подразделениям, в которых выявлены и наиболее мощные калиеносные бассейны: в СССР это верхний девон, нижняя пермь, верхняя юра, неоген, что, конечно, не исключает возможности выявления месторождений калийных солей и в другие эпохи, но с несколько меньшей вероятностью. К ним, в частности, относятся кембрийские отложения Сибирской платформы.

К косвенным поисковым признакам можно, например, отнести различную скорость накопления остаточного глинисто-гипсового материала над размывающимися пластами каменной и калийно-магниевых солей, обычно содержащих больше нерастворимых примесей и быстрее растворяющихся. К ним относятся бромхлорные отношения: по мере роста концентрации солей в солеродном бассейне (в рапе) в выпадающем галите увеличивается содержание брома. Для интервалов с повышенными отношениями содержаний брома и хлора в толще галита более вероятно на благоприятных для этого участках появление слоев и пластов сильвинита и карналлита. Необходимо, однако, иметь

в виду, что это правило из-за сложности и большого разнообразия процессов соленакопления действует не всегда. Иногда калийные соли появляются и при невысоких значениях этого коэффициента, иногда они отсутствуют и при высоких его значениях, что может быть связано с разбавлениями рапы в бассейне, разными соотношениями солей в источниках питания и изменением их во времени. Наиболее вероятные значения бромхлорного коэффициента ($Br \cdot 10^3 : Cl$) при начале садки: галита 0,1; сильвина 0,4; карналлита 0,6; после завершения цикла седиментации оно снова снижается и начинается новый цикл. Возможны и соответствующие более низкие значения коэффициента. Примерно то же относится и к калийхлорному соотношению. Этот признак имеет существенное значение на завершающих этапах циклов соленакопления, при которых создаются благоприятные условия для выпадения из рассолов солей калия и магния, потому что соли последних обычно развиты на относительно небольших площадях солеродного бассейна и чаще всего отсутствуют в его периферических и краевых частях.

Выходы соляных и соленосных пород на поверхность земли, являющиеся прямыми поисковыми признаками, встречаются сравнительно редко, а среди них выходы калийных и магниевых солей — во много раз реже. Более широкое распространение, а следовательно, и большее значение могут иметь гидрогеологические, в частности гидрохимические признаки, к которым относятся соляные источники, подземные соленые воды и рассолы, вскрываемые колодцами, скважинами и разгружающиеся в ручьи, речки и озера, обладающие повышенной минерализацией и определенными соотношениями растворенных в них компонентов. При этом повышенное содержание калия подтверждает наличие калиеносных пород не во всех минеральных водах. На это указывают главным образом соленые воды и рассолы, образовавшиеся в результате выщелачивания соляных залежей, содержащих калийные и калийно-магниевые соли, а в них содержание калия может быть и невысоким. Для суждения о возможном наличии калийных солей значительно важнее не абсолютные содержания в этих водах и рассолах отдельных компонентов солей, а их соотношения между собой и по отношению к общей минерализации этих вод. Кроме упоминавшегося бромхлорного коэффициента используются: магний-хлорное отношение ($Mg:Cl$), калийхлорный ($K \cdot 10^3 : Cl$) и калийный ($K \cdot 10^3$:сумма ионов) коэффициенты, а также калийбромное отношение ($K:Br$). Повышенные значения их свидетельствуют о растворении подземными водами калийных и калийно-магниевых солей. Для обоснованного прогноза необходимо комплексное использование этих отношений.

Бромхлорное отношение применимо не только к рассолам, но и к солям, поскольку способствует стратиграфическому расчленению. Пониженное содержание в породе брома и низкие зна-

чения коэффициента обычно связывают с переотложением калийно-магниевых пород или с выносом брома на стадии перехода осадка в породу. Рассолы, состав солей которых сформировался в основном в результате растворения отложений солей и которые могут служить поисковыми признаками наличия в недрах калийных солей, необходимо отличать от маточных рассолов, захороненных в соленосных отложениях или отжатых за их пределы, которые, несмотря на высокие содержания в них калия и магния, не свидетельствуют о наличии в соленосных отложениях пластов калийных и магниевых солей.

Необходимо также иметь в виду, что калиеносные горизонты большей частью заключены в толще соленосных отложений и каменной соли, подстилающей, покрывающей и окаймляющей их, и при спокойном залегании соленосной формации могут не растворяться и почти не проявляться в рассолах и водах. Поэтому даже отсутствие проявлений калийных солей в них еще не может служить достаточным основанием для заключения о бесперспективности данной формации.

Гидрохимические признаки и разработанная на их основе система отношений и коэффициентов катионов и анионов, являющихся основными компонентами, а также таких микрокомпонентов, как бром и другие, успешно используются при стратиграфическом расчленении солевых и соленосных отложений в соленосных формациях, выявлении в них завершенных и незавершенных циклов соленакопления, прослеживании их по скважинам, пробуренным в разных частях соленосной формации и прогнозе распространения тех из них, с которыми могут быть связаны калийные соли.

Большое число сведений о калиеносности соленосных формаций было получено при анализе результатов комплексного каротажа поисковых, структурных и опорных скважин, пробуренных при проведении различных работ на нефть и газ, который и сейчас необходим в комплексе предпоисковых исследований на калийные соли; в них входит и составление прогнозных карт калиеносности.

Основной задачей общих поисков применительно к месторождениям калийных и магниевых солей является выявление отложений калийных и магниевых солей в этих формациях, границ их распространения, основных минеральных форм, характера и степени загрязнения, содержания основных компонентов, взаимосвязей с вмещающими породами, представленными главным образом каменной солью, особенностей условий их залегания. На этой подстадии желательно охватить соленосную формацию и соответствующий солеродный бассейн в целом. По возможности изучают связи с вмещающими породами и возможные источники питания.

Следует отметить, что из-за необходимости срочного развития калийной сырьевой базы и удачных находок пластов ка-

лийных солей высокого качества на самых ранних этапах поисков, а также многолетнего систематического нарушения нормального хода геологоразведочного процесса, выражавшегося в проведении детальной разведки отдельных участков до завершения предварительной разведки и даже поисковых работ на выявленных калиеносных бассейнах, ни один из них не был своевременно полностью обследован поисковыми работами. Не завершено до сих пор поисковое обследование даже таких давно и широко эксплуатируемых калиеносных бассейнов, как Верхнекамский и Полесский. С этим связана недостаточная изученность периферических и краевых частей многих давно известных бассейнов, невыясненность закономерностей распределения в их пределах солей разного состава, разной степени загрязнения, замещений калийных солей каменной солью. А это в свою очередь вызывало недостаточно обоснованную очередность освоения отдельных участков калиеносных бассейнов, многочисленные ошибки в их изучении, проектировании и освоении не соответствующие особенностям конкретных участков технологические решения.

В последние годы нередко высказываются сомнения в необходимости проведения широких и многостадийных поисковых работ на калийные соли. Это обосновывается тем, что к настоящему времени имеется достаточно детально разведанных участков, обеспечивающих строительство и проектирование новых калийных комбинатов на многие годы вперед. Однако ознакомление с этими детально разведанными участками и только что введенными в строй действующими предприятиями показывает, что некоторые из них по сравнению с эксплуатировавшимися длительное время имеют худшие экономические показатели, более сложные горнотехнические условия эксплуатации, менее благоприятные состав и технологические свойства сырья, более высокие содержания нерастворимых примесей и более сложное их распределение. По многим показателям они уступают некоторым вновь выявленным и пока предварительно изученным месторождениям и участкам.

Это требует выявления новых калиеносных бассейнов в районах, удаленных от действующих предприятий (например, в Восточной Сибири), где экономическая эффективность их освоения может быть выше, чем некоторых уже эксплуатируемых месторождений, выявления новых месторождений и участков в бассейнах, где уже имеются разведанные участки (например, в в Среднеазиатском бассейне) не только с целью определения лучших, но и для познания общих для басейна закономерностей, которые могут быть использованы для уточнения распределения разновидностей солей с разными качественными показателями и технологическими свойствами на уже разведанных здесь месторождениях. Нельзя не отметить целого ряда детально разведанных участков этого бассейна: Окуз-Булакского, Кугитан-

ского, Гаурдакского, Тюбегатанского, Карлюкского, Карабильского, все основные показатели которых — запасы, качество, степень изученности закономерностей распределения разностей с показателями качества и технологических свойств — последовательно улучшались, но остались неполными из-за недостаточной изученности всего бассейна в целом. То же относится и к калиеносным бассейнам (Верхнекамскому, Полесскому, Прикарпатскому), в пределах которых имеются не только разведанные, но и вскрытые, эксплуатируемые участки и полное поисковое обследование которых еще рано считать завершенным.

Проведения полного комплекса поисковых работ, охватывающих весь калиеносный бассейн, требует также необходимость выявления новых месторождений сульфатно-калийных солей, прежде всего в Прикаспийском бассейне, широкое поисковое обследование которого, несомненно, будет способствовать выяснению закономерностей геологического строения и калиеносности месторождений, связанных с солянокупольными и брахиантиклинальными структурами в его пределах, имеющиеся данные о перспективности которых заставляют ставить вопрос об их внеочередном освоении (Эльтонское месторождение и др.).

В подстадии общих поисков, осуществляемых на больших территориях, где к настоящему времени обычно имеется немало скважин, пробуренных для разных целей, крайне важна соответствующая предполевая обработка фактического материала и его обобщение по признакам калиеносности бассейна, структурным уровням, циклам соленакопления, которые могут способствовать определению основных методов и задач поисков в конкретном бассейне. Помимо геологической документации и образцов керна основное внимание должно уделяться интерпретации каротажных исследований в скважинах. На их основе подбирается комплекс геофизических методов для площадного обследования территории и выявления тех или иных геофизических аномалий. Он может включать гравиметрические, сейсмометрические, электрометрические, радиометрические методы, соотношение которых и значение может изменяться от бассейна к бассейну в зависимости от геологического строения района, характеристик, покрывающих соленосную толщу отложений, глубины залегания толщи солей, ее структурных особенностей и условий залегания, внутреннего строения и распределения пластов и горизонтов, заключающих калийные и калийно-магниевые соли.

Большое внимание при этом уделяется радиометрическим методам. В ряде случаев весьма ценные результаты могут быть получены при использовании геохимических, особенно гидрохимических, методов поисков.

Применение буровых скважин на этой подстадии ограничено. Они используются главным образом для проверки и подтверждения наличия калиеносных пород, продуктивных горизонтов,

структурных построений, основанных на всем комплексе предполевых и полевых геофизических и геохимических исследований. Место заложения каждой скважины и комплекс исследований в ней, включая всесторонний каротаж, должны тщательно обосновываться. Наряду с этим единичные скважины необходимы и в краевых частях соленосного бассейна для изучения взаимосвязей с вмещающими породами, и в краевых частях развития в бассейне калиеносных пород для выяснения связей их с соленосными породами. Точная привязка скважин и определение положения ствола скважины особенно важны на ранних этапах, когда нет сети, точных границ участка обследования, что требует обязательной топографической привязки их и детальной инклинометрии, а также тщательного тампонажа скважин. Опробование их должно быть как можно детальнее. Соответственно предъявляются требования к высокому выходу,, ненарушенности и сохранности керна, к изучению его свойств.

Детальные поиски калийных и магниевых солей производятся в пределах соленосных формаций, в которых общими поисками не было выявлено пластов калийных или магниевых солей, но установлены прямые или косвенные признаки их наличия, требующие детализации поисковых работ для перехода к подстадии поисково-оценочных работ. Детальные поиски могут быть необходимы для обследования глубокозалегающих частей калиеносных формаций, в которых уже выявлены участки промышленной калиеносности, но их перспективность не была установлена общими поисками или поисково-оценочными работами. Характер детальных, как и общих, поисков существенно изменяется в зависимости от генетического типа соленосных формаций, их масштаба и условий залегания, приуроченности к различным геологическим структурам, степени тектонической нарушенности и проявлений соляной тектоники.

Для крупных пологозалегающих на значительной глубине соленосных формаций (таких, как Верхнекамская, Полесская, Среднеазиатская, Прикаспийская, Восточно-Сибирская) в основном применяются площадные геофизические методы, в частности гравиметрия, сейсмометрия, электрометрия, в сочетании с бурением немногих скважин, главным образом по профилям, сопровождающимся комплексом каротажных исследований, включая детальную радиометрию. Следует отметить необходимость изменения давно сложившейся практики проведения каротажных исследований и отношения к отбору керна, особенно по толщам солей, при бурении глубоких скважин организациями, занимающимися поисками нефти и газа. Из них, как правило, извлекаются только немногочисленные образцы керна, а каротаж ведется с такой скоростью, что не позволяет уверенно выделить в толще каменной соли даже мощные слои калийных солей. Очевидно, настало время, когда в целях комплексного изучения и освоения недр, в частности соленосных форма-

ций, как источника новых месторождений калийных солей, следует обязать все организации при бурении скважин по соленосным породам принимать все необходимые меры к получению максимального выхода керна и вести каротаж скважин с такой скоростью и детальностью, которая позволила бы выделять слои калийно-магниевых и других солей с минимальной мощностью не более 2 м, а также характеризовать их. Геохимические и гидрохимические методы поисков в пределах таких формаций имеют подчиненное значение, исключая детальный геохимический анализ разрезов скважин, вскрывающих или пересекающих соленосную толщу, а также участки, приближающиеся к поверхности вследствие региональной или солянокупольной тектоники, где эти методы имеют малое значение.

Резко возрастает роль геохимических и гидрохимических методов поисков в пределах соленосных формаций, выходящих на поверхность, особенно в районах с пересеченным и гористым рельефом, или под четвертичные отложения, а также в районах развития солянокупольных структур. Значительно большее место в них занимают и площадные геофизические методы. Кроме гравиметрического и сейсмометрического здесь находят более широкое применение электрометрические и радиометрические методы, включая пешеходную, авто- и аэрогаммасъемку. Кроме скважин, в таких районах иногда возможно и применение горных выработок, главным образом канав и шурфов, в основном фиксирующих косвенные признаки присутствия на глубине калийно-магниевых солей. К таким районам могут быть отнесены значительные части Прикарпатского и Закарпатского бассейнов, восточная часть Среднеазиатского и солянокупольные структуры Прикаспийского бассейнов.

В отличие от поисков других полезных ископаемых, учитывая крупные масштабы калийных предприятий, обеспечение которых запасами требует выявления от 500 млн. т до 1 млрд. т калийных солей для каждого, а также стремление группировать их, площади обследования по мере увеличения детальности поисков не должны сокращаться. Поэтому при переходе от общих к детальным поискам и далее к поисково-оценочным работам выявленный калиеносный бассейн (или месторождение), как правило, должен обследоваться целиком, а при очень больших размерах в значительной его части. Весь предшествующий опыт поисков и разведки калийных солей в СССР свидетельствует об этой необходимости. Для проведения поисково-оценочных работ рекомендуются калиеносные бассейны, в которых обнаружены пласты калийных и калийно-магниевых солей, мощность которых и содержание полезного компонента (KCl или K_2SO_4) близки к параметрам ныне эксплуатируемых месторождений— мощность не менее 1,5—2 м, содержание KCl не менее 15—20%, K_2SO_4 8—12%, а их непрерывность подтверждается данными бурения и геофизическими методами.

Поисково-оценочные работы проводятся в пределах соленосных формаций, в которых детальными поисками выявлены пласты калийно-магниевых солей, по предварительной оценке возможно представляющие промышленную ценность. Основная задача этих работ заключается в обследовании всего или значительной части калиеносного бассейна с целью выявления частей и участков, которые: 1) по своим параметрам и технико-экономическим показателям лучше 6 пределах бассейна и сопоставимы с ныне эксплуатируемыми; 2) по своим показателям уступают первым, требуют новых технологических решений и могут быть освоены в более отдаленном будущем; 3) не представляют промышленного интереса. На этой подстадии целесообразно выделить два этапа или направления исследований. Одно из них должно иметь своей задачей выделение частей бассейна и более подробное изучение их с детальностью, позволяющей уверенно рекомендовать их для проведения на них предварительной разведки и ориентировочно ограничить перспективные площади, на которых могут быть подсчитаны запасы категории C_2. Другое направление относится к изучению бассейна в целом, с его перспективными и бесперспективными частями, и направлено на выявление закономерностей геологического строения (например, антиклинальных и синклинальных структур разного порядка, разломов, сбросов и оперяющих их более мелких тектонических нарушений), закономерностей распространения солей разного состава, их переходов, изменений содержаний основных компонентов и примесей в пластах калийных и калийно-магниевых солей. Сюда относится например, увеличение или уменьшение содержания в них KCl или $MgCl_2$, нерастворимого остатка, $CaSO_4$, изменение вещественного состава, размерности кристаллов, строения пластов и слоев калийных солей, изменение вещественного состава нерастворимого остатка. Кроме того, следует выявить закономерности диагенетических изменений в пластах солей и размещения зон замещения калийных солей галитом. Все эти параметры впоследствии должны детализироваться и уточняться на стадиях предварительной и детальной разведки, однако начало их изучения должно быть положено еще на подстадии поисково-оценочных работ.

Учитывая приуроченность калиеносных пластов и горизонтов к мощным толщам соленосных отложений с мощными пластами подстилающей, разделяющей и покрывающей их каменной соли, залегание их в основном на больших глубинах, обычное наличие в надсолевых отложениях водоносных горизонтов, основным видом поисковых и разведочных выработок на этой подстадии (и всех последующих стадиях) являются скважины колонкового бурения, применявшиеся при поисках и разведке всех месторождений калийных солей. Однако недопустимость значительного сокращения расстояний между поисковыми и

разведочными скважинами для выяснения деталей строения и изменения параметров калиеносных горизонтов требует использования их с максимально возможной эффективностью, с извлечением большей части поставляемой скважинами информации. Выполнение с помощью скважин основных задач поисково-оценочных работ возможно только при условии одновременного применения достаточно широкого комплекса геофизических и геохимических исследований как в скважинах и по керну, так и площадных.

Отличие характера и методики поисково-оценочных работ на месторождениях калийных солей от таких же работ на месторождениях каменной соли связано с различным масштабом предприятий, использующих калийные соли и каменную соль, а следовательно, и с масштабом их сырьевых баз, и в то же время с различной концентрацией полезного ископаемого на единицу площади. Как указывалось выше, для одного калийного комбината требуется от 500 млн. т до 1 млрд. т запасов калийных солей; при этом на месторождениях, которые встречаются значительно реже месторождений каменной соли, обычно группируется несколько таких комбинатов. Предприятия, добывающие каменную соль или хлорнатриевые рассолы, являющиеся сравнительно дешевым сырьем, не выдерживающим дальних перевозок, обычно обеспечиваются запасами каменной соли в несколько раз меньшими, чем запасами калийных солей. Они могут базироваться и на сравнительно небольших месторождениях, расположенных возможно ближе к потребителю соли; эксплуатируемые участки их невелики по площади (редко до 5—10 км^2).

Так как месторождения калийных солей приурочены к соленосным формациям, в которых мощности пластов калийных или калийно-магниевых солей во много раз меньше мощностей пластов каменной соли, минимальные площади участка, являющегося сырьевой базой одного калийного комбината, в зависимости от условий залегания и мощностей пластов колеблются от 15 (для крутопадающих) до 70 км^2 (для пологозалегающих). Это в свою очередь предопределяет целесообразность проведения поисково-оценочных работ только в пределах соленосных формаций, имеющих достаточно большие площади распространения калиеносных отложений, составляющие не менее нескольких десятков или сотен квадратных километров, при мощности их, выдержанной в пределах хотя бы одного цикла соленакопления, не меньшей чем 1—2 м.

Ограничение минимальных запасов и площадей для промышленно ценных участков, а также практикующаяся группировка их для строительства двух, трех и более предприятий на одном месторождении, требующие проведения поисково-оценочных работ на всей площади распространения калиеносных отложений в выявленной соленосной формации (или в значительной ее части), позволяют располагать поисковые скважины по пра-

вильной сети, форма которой отвечает конкретным особенностям данной соленосной формации. При этом число скважин, пересекающих полезную толщу, в отличие от месторождений каменной соли может достигать нескольких десятков. Такое число пересечений толщи полезного ископаемого дает возможность получить достаточно надежные средние данные о нем и пределах колебаний основных параметров и выявить наиболее важные закономерности изменений параметров калиеносных горизонтов, химического и вещественного состава калийных и калийно-магниевых солей.

При проведении поисковых работ на Верхнекамском месторождении была принята квадратная сеть со стороной 8 км, на Старобинском 3Х3 км, местами 3Х4 км. В Предкарпатском бассейне применялось расположение скважин профилями через 4 км, а на линиях 1—2 км. По профилям, расположенным сначала через 4 км, а затем через 2 км, закладывались поисковые скважины на Эльтонской и других солянокупольных структурах в Прикаспии. Расстояния между ними в линиях изменялись в зависимости от углов падения пластов солей, уменьшаясь до 1—0,5 км. Судя по результатам проведенных на некоторых месторождениях предварительной и детальной разведок, а также эксплуатации отдельных их участков, сети, выбранные для поисково-оценочных работ, не всегда были оптимальными. Так, на Верхнекамском месторождении сеть 8Х8 км явно редка и не позволила выявить закономерностей изменения состава калийных солей: увеличения содержания KCl и нерастворимых примесей в южном и юго-восточном направлениях. В дальнейшем она была сгущена до 4Х4 (в южной части) и до 8Х8 км со скважиной в центре квадрата (в северной части). Это сгущение позволило также обнаружить Дуринский прогиб широтного направления, а затем и еще один севернее от него. Следует подчеркнуть, что расстояния между поисковыми скважинами и их расположение (форма сети) не должны жестко регламентироваться и могут быть разными для конкретных калиеносных бассейнов и даже их частей в зависимости от особенностей геологического строения, условий залегания, изменчивости состава пластов калийных солей. Вместе с тем необходимость преемственности сети при предварительной и детальной разведках, с учетом будущей системы разработки месторождения и уменьшения потерь в охранных целиках вокруг стволов скважин, ограничивает изменения расстояний между профилями и скважинами в линиях кратностью возможным расстояниям разведочной сети и размерам обычно применяемых панелей при разработке.

Различия в методике поисково-оценочных работ на месторождениях калийных солей, приуроченных к пологозалегающим соленосным формациям и брахиантиклинальным и солянокупольным структурам, аналогичны различиям в методике таких

работ на месторождениях каменной соли. Особенностью их является необходимость прослеживания и изучения краевых частей пластов калийных солей, их состояния и состава в зонах выклинивания толщи каменной соли, а иногда и за ее пределами, изучения характера элювия этих пластов в зонах выщелачивания и растворения последних, следов их в кепроке. Это требует продолжения профилей поисковой сети за границы распространения калиеносных горизонтов и толщ каменной соли, изучения контактов калийных солей, каменной соли и несолевых пород с еще большей тщательностью и полнотой, с более широким и глубоким использованием комплекса геофизических и геохимических методов, чему способствует и природная радиоактивность калия.

На подстадии поисково-оценочных работ особенно важно применение таких площадных геофизических методов, как сейсмометрические и электрометрические, с охватом ими всей или значительной части площади калиеносного бассейна. Они успешно применялись для определения границ распространения толщи солей солянокупольных структур, наличия и положения зон разломов и разрывных нарушений в толще солей (например, на Карлюкском месторождении), участков растворения и карстования соленосной толщи с минерализованными водами и рассолами.

В связи с тем, что одна из главных задач поисково-оценочных работ — выбор перспективных для первоочередного освоения площадей и участков с целью проведения на них предварительной разведки, особое значение приобретает получение достаточно полных данных для сравнительного их анализа по горнотехническим условиям разработки, параметрам и строению пластов, качеству и технологическим свойствам калийных солей, по закономерностям изменений их в пределах калиеносного бассейна, для предварительных соображений по выбору наиболее благоприятного метода переработки. Эти данные могут быть получены только путем тщательной и целенаправленной геологической документации, применения комплекса каротажных исследований, всестороннего опробования калийных пластов и горизонтов.

В отличие от каменной соли, обогащаемой сравнительно редко и наиболее простыми методами, в основе оценки которой и выбора площадей для разведки лежит ее чистота и химический состав, калийные соли применяются только после обогащения, обычно более глубокого; успешное и эффективное ведение последнего зависит от выдержанности или степени изменчивости не только химического состава соли, но в решающей степени — от многих других показателей, параметров и свойств, определение и оценка которых необходима для выбора площадей для разведки и выбора самого способа обогащения. Применение для добычи калийных солей в основном подземной

разработки шахтным способом требует определения в достаточном объеме и ряда параметров, характеризующих устойчивость, прочностные и другие физические свойства калийных солей и вмещающих их пород, значительно отличающиеся у разных видов и разностей калийных солей и тем более от каменной соли и несолевых пород. Поэтому при поисково-оценочных работах на калийные соли объем и широта информации, получаемые по каждой поисковой скважине, должны быть многократно большими, чем при поисках месторождений каменной соли, где столь широкие данные кроме химического состава могут получаться и по разреженной сети или единичным скважинам.

Ограниченность общего количества пересечений полезной толщи в пределах калиеносного бассейна и тем более его части делает необходимым, начиная с подстадии поисково-оценочных работ, получение по каждой скважине информации такого объема и качества, которые позволят в дальнейшем использовать ее наравне с данными, получаемыми по скважинам предварительной и детальной разведки. Все это в равной мере относится к геологической документации, опробованию и каротажным исследованиям. Большая разносторонность и детальность их необходимы также для выбора главных визуальных признаков, фиксируемых документацией; компонентов, показателей, параметров и свойств, определяемых анализами и испытаниями, а также комплексом геофизических методов, которые необходимо определять при предварительной разведке. Этот выбор осуществляется путем сопоставления документации, результатов анализов, испытаний, каротажных исследований.

Геологическая документация, как показывает практика последних лет, должна быть полнее и конкретнее. В ней необходимо освещать не только слои в целом, но и все прослойки, детали переслаивания калийных солей и каменной соли, характеристику и параметры солевых и несолевых прослоев, представленных глинами, карбонатами, ангидритом, их размерность. Должны фиксироваться не только изменения цвета, но и цветовой рисунок, оттенки, переходы; размеры кристаллов и зерен должны выражаться конкретными величинами; очень важны соотношения кристаллов сильвина с галитом и карналлитом, характер распределения нерастворимых примесей: в кристаллах, между ними, их признаки; характер, количество и распределение газово-жидких включений и т. д. Особое место в документации занимает описание состояния керна.

Опробование производится с той же, а иногда и большей детальностью, чем при предварительной разведке. Оно, как правило, имеет послойный характер; при этом по части скважин раздельно опробуются даже небольшие прослои калийных солей и каменной соли. В дальнейшем, если нет существенных различий между этими прослоями, они могут объединяться в слои мощностью до 1 м и даже до 2 м. Подстилающая и покрываю-

щая каменная соль, а также междупластья при большой мощности их могут опробоваться и более крупными интервалами. Опробование обычно увязывается с каротажными исследованиями, в частности с гамма-каротажем и кавернометрией, которые позволяют уточнить интервалы, требующие раздельного опробования: из-за повышенного содержания калия в каменной соли, глинистого материала, карналлита или других солей в сильвините и пр. Для этой цели часто целесообразен микрокаротаж.

Наряду с химическими анализами калийных солей, которыми должны определяться все основные компоненты и микрокомпоненты, и более сокращенными анализами каменной соли, в большей части проб которой достаточно определения содержания калия, магния, кальция, брома, нерастворимых в воде примесей, хлора и сульфат-иона, на подстадии поисково-оценочных работ производятся определение минерального состава пластов калийных солей, петрографические исследования, включающие изучение структурно-текстурных особенностей, соотношений минералов, распределение примесей в калийных солях, изучается вещественный состав по фракциям, величина которых определяется размерами кристаллов и зерен основных минералов и примесей, исследуются физико-механические свойства калийных солей, каменной соли, несолевых пород, особенно глинистых; для последних очень важно изучение минерального состава, склонности к набуханию, дезинтеграции и других свойств, характеризующих их устойчивость в горных выработках. Как правило, такие исследования в большем или меньшем объеме должны осуществляться по всем поисковым скважинам.

По результатам поисково-оценочных работ выбираются площади для предварительной разведки и определяется ее методика, соответствующая генетическому и промышленному типу калиеносного бассейна, особенностям условий залегания калийных солей и их вещественному составу, а также ориентировочному способу переработки сырья.

Предварительная разведка месторождений калийных солей в отличие от месторождений каменной соли проводится на большей части площади калиеносного бассейна, признанной перспективной для первоочередного освоения, даже если она заключает запасы, обеспечивающие строительство нескольких калийных шахт.

Основной задачей предварительной разведки является выяснение и уточнение геологической структуры месторождения, формы и условий залегания пластов калийных солей, их качества и технологических свойств, а также горнотехнических условий разработки наиболее перспективных участков месторождения дли предварительной геолого-экономической оценки и решения вопроса о сроках освоения и перехода к детальной

разведке. Сюда входит также выяснение основных параметров, определяющих методику детальной разведки.

Методика предварительной разведки месторождений калийных солей по существу повторяет почти все основные положения методики предварительной разведки месторождений каменной соли, включая и различия для месторождений пластовых пологозалегающих и месторождений линзовидных, крутопадающих, токтонически сильно нарушенных, вплоть до связанных с солянокупольными структурами, которые уже изложены выше. В то же время задачи, стоящие перед ними, противоположны. В пределах выявленного соленосного бассейна предварительной разведкой каменной соли разведуются и изучаются участки с наибольшей мощностью каменной соли и наименьшим количеством примесей (особенно калийных и магниевых солей), без пластов и прослоев последних. Предварительной разведкой месторождения калийных солей изучаются площади и участки бассейна, заключающие пласты и линзы калийных солей в толще каменной соли.

Особенности методики предварительной разведки месторождений калийных солей связаны с условиями их залегания в соленосных отложениях; представляющие промышленный интерес пласты калийных солей в основном залегают как бы в оболочке из подстилающих и покрывающих их пластов каменной соли, изолирующих их от внешних воздействий и предохраняющих от растворения подземными водами. Краевые части этих пластов, подверженные выщелачиванию, за редкими исключениями (Домбровский участок в Прикарпатском бассейне) промышленного интереса не представляют. Такая консервация калийных пластов приводит к их высокой сохранности после преобразования этих пластов и пластов каменной соли из соляного осадка в соляную породу, ставшую водоупором.

Эти особенности связаны также с условиями выпадения хлоридных калийных солей из раствора и их раннедиагенетическими преобразованиями в обширных калиеносных бассейнах, в которых сезонная садка солей происходила на громадных площадях и характеризовалась почти одинаковой мощностью осадка (до 15 см) одинакового минерального состава. Кратковременность осаждения отдельных пластов калийных солей, исчисляющаяся немногими сотнями и даже десятками лет, и их перемежаемость с пластами галита обусловили как выдержанность осадка на больших площадях, так и сравнительно небольшие и в целом закономерные изменения его состава в диагенезе, как правило завершавшиеся после превращения пористого (до 30%) осадка в плотную водоупорную породу. Эти изменения в основном выражаются в перекристаллизации выпавших калийных солей, в дифференциации на слои сильвинита и карналлитовой породы, в замещении на части площади карналлитовых слоев сильвинитом; значительно реже возможен и

обратный процесс. На отдельных участках калийные соли в пластах и слоях частично или полностью замещаются галитом. Размеры таких зон замещений колеблются от долей квадратных километров до сотен тысяч квадратных километров, но площади, занимаемые ими, составляют менее 1,0% площади распространения калийных солей. Можно полагать, что процессы замещений в пластах калийных солей связаны с закономерным перемещением поровых межкристальных рассолов, а также с поступлением в калийный бассейн минерализованных подземных вод и протекают с заметной интенсивностью до резкого уменьшения пористости осадка при переходе его в породу. Это в свою очередь, предопределяет закономерное распределение замещений по площади, между горизонтами, пластами и внутри пластов солей.

На месторождениях сульфатных калийно-магниевых солей изменчивость этих солей, а также их замещений и переходов существенно отличается от бессульфатных хлоридных месторождений. Для сульфатных месторождений характерны большая сложность, разнообразие переходов, локализация на небольших участках однородных по составу солей, закономерности которых не поддаются расшифровке даже при очень густой сети. Это следует иметь в виду при разведке таких месторождений скважинами, дающими о них весьма приблизительное представление.

Особенности предварительной разведки месторождений калийных солей определяются и своеобразием проявлений в них соляной тектоники, включающих мелкую дисгармоничную складчатость, микроскладчатость, будинаж, сложные формы «течения» солей, брекчирование, обусловленные разными прочностными характеристиками как различных калийных солей, так и каменной соли, прослоев ангидрита. Большая часть перечисленных проявлений соляной тектоники локализуется в пределах калийных пластов или калиеносных горизонтов. Реже они накладываются и значительно усиливают и усложняют более крупные складчатые структуры, связанные с региональной тектоникой. Поэтому наличие в пределах калиеносного бассейна крупных антиклинальных и синклинальных складок разных порядков, которые выявляются обычно с помощью скважин с поверхности земли или геофизическими методами, обычно указывает и на обязательное усложнение их соляной тектоникой. Эти усложнения закономерно подчиняются общей тектонической схеме всего соленосного бассейна и могут быть выявлены при детальном изучении крупных структур, мелкоамплитудной складчатости, микроскладчатости, будинажа, брекчирования и их сопоставления.

Необходимо отметить, что микроскладчатость в солях, микроразрывы в слоях солей и мелкие внедрения одних солей в смежные слои других начинаются еще в стадии раннего диаге-

неза, однако в этот период они обычно локализуются в пределах одного пласта или даже слоя и по своим масштабам не оказывают существенного влияния на условия эксплуатации этих пластов. Основные же проявления соляной тектоники, имеющие важное значение для промышленного освоения месторождения, происходят в стадию катагенеза в уже сформировавшейся породе, т. е. тогда, когда калийные соли заключены в каменной соли и деформируются вместе с ней, не образуя крупных пустот и пор, кроме тех участков, где в соляной толще оказываются захороненными в силу различных причин скопления маточного рассола или газа. Однако, как показывает опыт эксплуатации, такие участки встречаются сравнительно редко и локализованы в ограниченном пространстве. Встреча эксплуатационных выработок с ними часто имеет катастрофические последствия, а при разведке они обнаруживаются единичными скважинами в виде суфлярных выбросов газа, реже — выбросов рассолов. Каждое такое проявление требует тщательного анализа и выявления связи их со свойствами и особенностями пород, в которых были заключены газы или рассолы, установления закономерностей их скопления и признаков для заблаговременного выявления (брекчированные породы, элементы структур и пр.). В остальных частях калиеносных бассейнов проявления соляной тектоники и ее формы в пластах калийных солей не беспорядочны, а имеют определенную закономерность и через проявления соляной тектоники в более мощной толще каменной соли увязываются с более крупными складчатыми структурами. Одной из задач геологоразведочных работ и является выяснение характера этой связи.

Скважины колонкового бурения, являющиеся основным видом разведочных выработок, на стадии предварительной разведки обычно унаследуют расположение, принятое при поисково-оценочных работах, если в результате проведения последних не произойдет изменения представлений о геологическом строении месторождения, требующего переориентировки ранее принятой сети. При этом в соответствии со стремлением к правильной сети и со сгущением ее большей частью в два раза наиболее часты переходы от квадратной к прямоугольной или от последней к квадратной сети, реже — переходы к профилям со сгущением скважин на линиях профилей. Изменение кардинальных направлений сети происходит значительно реже. Обычно малоэффективно и расположение скважин в центрах квадратов ранее принятой сети. Разумеется, все эти перестроения сети производятся только при достаточно веском геологическом обосновании.

Разведочная сеть ориентируется вкрест направления изменений наиболее существенных для выявления геологического строения и для эксплуатации параметров, показателей и факторов (изменений условий залегания калийных горизонтов, мощ-

но

ностей пластов солей, содержаний основного компонента и таких примесей, как $MgCl_2$ и нерастворимый остаток) вкрест складчатых структур, зон размывов или выщелачивания, параллельно коротким и длинным осям калиеносного бассейна. Выбор основных и решающих для конкретного месторождения факторов, определяющих ориентировку сети, иногда возможен в процессе поисково-оценочных работ, но чаще — на стадии предварительной разведки. В первую очередь его связывают со складчатостью. В отдельных случаях приходится закладывать и единичные профили, не совпадающие с общей ориентировкой сети.

Для изучения характера, размеров, расположения антиклинальных и синклинальных складок низких порядков наряду с использованием всех скважин, пробуренных по разведочной сети, которое должно сопровождаться тщательными замерами углов падения пластов, слоев, прослоев, а нередко и кернометрией с замерами углов и азимутов падения, широко используются различные площадные геофизические методы, включая электрометрические, гравитационные, гамма-съемку и другие, а также бурение дополнительных скважин до соляного зеркала и с небольшим углублением ниже него (на 10—20 м). Громадное значение для правильного использования как разведочных, так и дополнительных скважин имеет заблаговременное определение полной стратиграфической колонки соленосных отложений с выпадением основных циклов соленакопления, с определением показателей, необходимых для уверенной корреляции разреза соленосной толщи по скважинам.

Такими коррелирующими показателями могут быть хлор-бромный и другие коэффициенты, упоминавшиеся выше, маркирующие прослои соляных и несолевых пород, акцессорные минералы или компоненты, структурные и текстурные особенности отдельных слоев, содержание и вещественный состав нерастворимых примесей. На разных месторождениях комплекс их неодинаков, а определения и выбор их необходимы еще на подстадии поисково-оценочных работ с тем, чтобы перед предварительной разведкой были подготовлены основные показатели для коррекции. Наряду с геологической документацией для этой цели используются данные каротажа, производятся химические анализы и минералого-петрографические исследования. Изучению подвергаются не только калиеносные горизонты, но и вся соленосная толща, что особенно важно для определения частей разреза ее, выходящих на соляное зеркало, а следовательно, и характера складчатых структур дополнительными скважинами.

Корреляционные исследования необходимо начинать на стадии предварительной разведки. Задержка с ее началом до стадии детальной разведки грозит потерей наиболее важной и ценной информации, так как керн соленосных пород при длитель-

ном хранении становится непригодным для этой цели. Примером успешного проведения такого рода исследований может служить предварительная разведка очень сложного Эльтонского солянокупольного месторождения, на котором без них расшифровка структуры была бы невозможна.

Для успешного проведения разведочных работ и правильной оценки месторождения на калийные соли, как и для каменной соли, решающим условием является получение высокого, не менее 90—95%, выхода керна в минимально нарушенном состоянии и хорошей сохранности. Поэтому на стадии предварительной разведки должны быть опробованы и выбраны оптимальные конструкции скважин, методы и режимы бурения, включая минимальные диаметры, длины рейсов, скорости вращения, режимы промывки и состав промывочной жидкости, обеспечивающие высокий выход керна хорошей сохранности. Следует отметить, для каждого калиеносного бассейна эти мероприятия неодинаковы, что связано с разными физико-механическими свойствами солей, различными условиями седиментации, различным характером диагенеза и последующих тектонических воздействий на эти соли. Так, на Верхнекамском месторождении в пластах и слоях нижнего сильвинитового горизонта тонкие так называемые «сезонные» прослои сильвинита нередко разделяются тончайшими прослойками ангидрита, разрушение которых при бурении приводит к делению керна на мелкие плашки и искажению содержания в породе $CaSO_4$. В пластах карналлит-сильвинитового горизонта карналлитовая порода обычно брекчирована, что приводит к ее легкому разрушению и низкому выходу керна при бурении. Принимаемые меры приводят к повышению выхода керна, но состояние его улучшается мало. Возможно, следует значительно увеличить диаметр скважин.

Весьма важен правильный выбор режима промывки и состава промывочной жидкости. Переход на бурение с местной циркуляцией промывочной жидкости, как правило, способствует повышению выхода керна, но он же нередко значительно ухудшает его состояние: керн чаще рвется на плашки из-за его зашламовывания; что в свою очередь требует мероприятий по быстрому удалению шлама из коронки и ее сочленения с колонковой трубой. Этому могут способствовать повышение столба промывочной жидкости при местной циркуляции или увеличение давления при промывке с насосом, а также изменения формы коронки и режущего инструмента.

Скважины должны промываться раствором, насыщенным всеми минеральными разностями легкорастворимых солей, пересекаемых скважинами. Это особенно трудно при чередовании в разрезе пластов и слоев галита, сильвинита, карналлита и тем более бишофита, а также легкорастворимых сульфатных солей калия, магния и натрия. Все эти соли обладают различ-

ной растворимостью, которая зависит как от присутствия в растворе других солей, так и от изменения их содержания при изменении тепературы и состава солей в твердой фазе, с которой взаимодействует раствор. Растворимость каждой соли обычно уменьшается в присутствии одноименных катионов или анионов и увеличивается, если присутствуют разноименные ионы. Более растворимые соли часто подавляют менее растворимые, заставляя их выпадать из раствора. На месторождениях хлоридных калийно-магниевых солей такой солью, обладающей наибольшей растворимостью, подавляющей менее растворимые хлориды калия и натрия, которая используется в качестве основы промывочных жидкостей, является $MgCl_2$ (растворимость при 20°С 35,3%). Более высокую растворимость имеет $CaC1_2$ (при 20° С 42,7%), но пока на большей части месторождений солей он не обнаружен и в промывочные растворы не вводится. Высокая растворимость $MgCl_2$ и способность его образовывать кристаллогидраты, в частности бишофит $MgCl_2X$ $X6H_2O$, а также изменение растворимости при изменении температуры (33% при 0° С и 42,2% при 100° С) в пресной воде и в большем диапазоне в присутствии других солей, способствуют самопроизвольному выпадению бишофита из бурового раствора на забое или в трубах и их зашламовыванию. Кроме $MgCl_2$ раствор должен быть насыщен KCl и NaCl. Необходим также систематический контроль за составом промывочного раствора и его температурой от забоя скважины до зумпфа с раствором. На месторождениях сульфатных солей раствор должен быть насыщен и относительно сульфат-иона.

Все скважины, пробуренные при поисках и предварительной разведке, должны быть тщательно затампонированы от забоя до устья. Заливка скважин даже густым глинистым раствором недопустима. В последние годы широкое распространение получил тампонаж скважин каустическим магнезитом от забоя до зеркала соли, а выше — обычным тампонажным цементом.

Все скважины предварительной разведки должны быть опробованы. Производится послойно-секционное опробование, с длиной секции, не превышающей 1—2 м. В необходимых случаях, с учетом опыта использования комбайнов, способных отрабатывать слои мощностью 0,7 м, интервал опробования может быть сокращен до 0,7 м. Пробы отбираются для производства химических анализов, изучения минералогического состава, петрографических особенностей калиеносных горизонтов, изучения вещественного состава солей и нерастворимых примесей, физико-механических и технологических свойств солей, а также лабораторных исследований их обогатимости.

По всем скважинам предварительной разведки проводится комплекс каротажных исследований. При этом в качестве обязательных методов применяются гамма-каротаж и кавернометрия, в ряде случаев целесообразно применение микрокаротажа

и нейтронного гамма-каротажа; комплекс остальных методов подбирается применительно к каждому конкретному месторождению; возможно применение электрокаротажа, термокаротажа, гамма-гамма-каротажа и многих других методов. По каждой скважине обязательно производится инклинометрия. Данные каротажа сопоставляются с результатами анализов; определяется положение пластов калийных солей, их мощности, содержание в них калия, особенно для интервалов с пониженным выходом керна; выделяются пласты, представленные карналлитовой породой или бишофитом; определяется положение соляного зеркала, наличие на нем рассольного горизонта и ориентировочное распространение горизонта с минерализованными водами над ним, а также положение и характер вышележащих водоносных горизонтов. На стадии предварительной разведки начинается изучение гидрогеологических условий эксплуатации месторождения; при необходимости производятся откачки из скважин, замеры уровней воды водоносных горизонтов, изучение их химического состава и дебитов; исследуются гидрогеологические условия краевых частей бассейна и участки возможного карстования солевых отложений. Эти сведения должны дать предварительную оценку гидрогеологических условий участков, рекомендуемых для проведения на них детальной разведки, мест для заложения стволов шахт, а также для выбора оптимального способа и системы разработки месторождения.

По результатам предварительной разведки выбираются участки и площади, наиболее перспективные для детальной разведки и первоочередного освоения, на которых подсчитываются запасы категории C_1 и ориентировочно определяются шахтные поля; дается предварительная оценка качества, технологических свойств солей, горнотехнических и инженерно-геологических условий разработки участков. На основе изучения вещественного состава и технологических свойств солей выбирается наиболее оптимальный способ обогащения и переработки сырья: галургический, флотационный, комбинированный; от правильного выбора способа зависит основное направление изучения сырья при детальной разведке и характер дальнейших технологических исследований.

Детальная разведка месторождений калийных солей проводится на участках (шахтных полях), которые на основании предварительной разведки намечаются к промышленному освоению в ближайшие годы, а по количеству запасов обеспечивают предприятия на нормативный срок деятельности, не менее чем на 40 лет.

На стадии детальной разведки уточняются представления о структуре месторождения и участка разведки, строение и условия залегания калиеносных горизонтов, пластов и слоев калийных солей, их качество, вещественный состав и технологические свойства, правильность выбора способа разработки и

способов обогащения и переработки калийных солей, пространственное распределение в полезной толще основных компонентов и вредных примесей калийных или калийно-магниевых солей, технологических типов и сортов сырья, горнотехнических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий разработки, и другие данные, необходимые для обоснования кондиций, утверждения запасов в ГКЗ СССР и составления технического проекта разработки месторождения.

Соотношение разведуемых запасов категорий А, В и C_1 на участке детальной разведки принимается в соответствии с действующей Классификацией запасов месторождений твердых полезных ископаемых и инструкцией по ее применению к месторождениям ископаемых солей в зависимости от сложности геологического строения месторождения, его генетического и промышленного типа. В инструкции приведены ориентировочные расстояния (см. выше) между разведочными скважинами для запасов категорий А, В и C_1 разных типов месторождений солей, которые применялись при разведке месторождений солей. При этом указывается, что расстояния эти необязательны, а для каждого месторождения должны обосновываться в ходе разведочных работ.

При разведке месторождений хлоридных солей, таких как Верхнекамское, Старобинское, Карлюкское, Тюбегатанское, Карабильское, расстояния между скважинами для запасов категории А принимались от 800 до 1000 м, категории В от 1000 до 2000 м и C_1 до 2500, а иногда и до 4000 м. При разведке месторождений сульфатных и хлоридно-сульфатных калийных солей, таких как Калуш-Голынское и Стебникское, эти расстояния соответственно составляли: 250—500; 600—1000 и 1200 м. Необходимо отметить, что расстояния эти не всегда были достаточно обоснованны, особенно чрезмерное их увеличение для запасов категории C_1, они не всегда обеспечивали необходимую увязку пластов и слоев калийных солей, правильное определение закономерностей изменения их состава, выявление необходимых деталей геологического строения. В наибольшей степени это относится к месторождениям сульфатных калийных солей, которые большей частью представлены линзами сравнительно небольших размеров и сложных очертаний с весьма изменчивым минеральным и химическим составом солей.

Интересен многолетний опыт эксплуатации освоенных участков Верхнекамского и Старобинского месторождений. Сопоставление данных разведки и эксплуатации, выполненное геологами на Верхнекамском месторождении, удовлетворительно подтверждает утвержденные ГКЗ СССР запасы калийных солей по их количеству, качеству, мощности пластов солей, обусловленных кондициями и техническими условиями, по общим условиям залегания калиеносных горизонтов и тектонике месторождений. При вскрытии новых участков по сравнению с

данными детальной разведки обнаружено усложнение условий залегания пластов в результате мелкоамплитудной тектоники, более сложное распределение зон замещения сильвинита карналлитом и калийных солей каменной солью; наличие крупных сбросов в краевой части Старобинского месторождения, на котором не была своевременно проведена сейсмометрия. Хуже согласуются данные разведки и эксплуатации по положению, морфологии, минералогическому и вещественному составу линз сульфатно-калийных солей, особенно на Калуш-Голынском месторождении.

Затруднения с освоением новых участков Верхнекамского и Старобинского месторождений в первую очередь связаны с тем, что применяемые технологические схемы обогащения и переработки калийных солей недостаточно учитывают особенности состава и технологических свойств солей конкретных участков. Сильвиниты этих участков отличаются по содержанию и составу нерастворимого остатка, который вообще не учитывался кондициями; по структурно-текстурным особенностям солей; имеющиеся почти на всех участках калийные соли с повышенным содержанием $MgCl_2$ (более 1%) вообще не отрабатываются из-за неизученности технологии их переработки. Использование флотационного способа переработки на участках с повышенным содержанием в солях нерастворимых примесей следует вообще признать ошибочным.

При проведении геологоразведочных работ на калийные соли очень слабо использовался керновой материал для изучения состава, структурно-текстурной характеристики, технологических свойств сырья, закономерностей распределения технологических типов и разностей калийных солей. До настоящего времени уделяется недопустимо мало внимания проведению широких и всесторонних лабораторных и полупромышленных технологических исследований. Лабораторные технологические исследования проводятся в недостаточном объеме и с малым диапазоном технологических решений. Почти не применяется моделирование технологических процессов на укрупненных лабораторных пробах. Не проводятся полупромышленные исследования на опытных установках среднего масштаба, сырье для которых могло бы быть получено из скважин большого диаметра. Рекомендуемые технологические схемы недостаточно гибки и рассчитаны на слишком узкий диапазон колебаний состава и свойств сырья. В недостаточном объеме проводились работы по усреднению сырья.

Анализ результатов разведочных работ, проводимых исследований, опыта эксплуатации и зарубежных данных, показывает на насущную необходимость значительных изменений в методике геологоразведочных работ: в первую очередь резкого увеличения их всесторонней информативности и усиления технологических исследований. В отдельных случаях детальную

разведку действительно необходимо проводить по рекомендации ВНИИГа — проходкой шахты и подземных разведочных выработок с бурением из них скважин. Таковы, например, некоторые месторождения сульфатных калийно-магниевых солей очень сложного геологического строения в Прикарпатье или Эльтонское и другие аналогичные месторождения, где невыяснены пока закономерности внутреннего геологического строения соляно-купольных структур. Эта методика может применяться, разумеется, только после надежного определения границ соляной толщи и ее необводненных частей с поверхности.

На пластообразных и пластово-линзообразных месторождениях, особенно хлоридных калийных солей, при соответствующем совершенствовании геологоразведочного процесса промышленная оценка может быть дана с необходимыми для проектирования детальностью и полнотой без вскрытия месторождения горными выработками на основе совокупности геофизических исследований за периоды поисково-оценочных работ, предварительной и детальной разведки по всей обследованной ими площади, а также информации, которую можно получить за счет более полного и рационального использования скважин с поверхности земли и извлекаемого из них керна. Очень важно использование для этой цели данных, полученных и за пределами шахтного поля, или участка детальной разведки. К сожалению, этому обстоятельству уделялось мало внимания при детальной разведке новых участков Верхнекамского месторождения, где недостаточно увязывались даже соседние детально разведанные участки для прослеживания выявленных на них тех или иных закономерностей.

Следует подчеркнуть, что подземная детальная разведка там, где она действительно необходима, сама по себе не компенсирует тех недостатков разведочных работ, которые отмечались выше, и в равной мере требует существенных изменений в методах изучения и оценки месторождений. Сюда включаются изменения в системе документации, опробовании, анализах, испытаниях, технологических исследованиях и выборе способа обогащения и переработки, соответствующего особенностям месторождения и участка детальной разведки.

При разведке месторождения только с поверхности наиболее сложно установить характер изменений положения пласта между скважинами за счет мелкоамплитудной складчатости, осложненной соляной тектоникой. Складчатость более низких порядков, подчиняющаяся, как правило, закономерностям, имеющим региональный для месторождения характер, обычно выявляется результатами геофизических исследований, всей совокупностью поисковых и разведочных скважин, а также дополнительных скважин. Они закладываются между разведочными скважинами для уточнения положения соляного зеркала, мощности водозащитной толщи, состава и стратиграфической при-

уроченности соляных пород, выходящих на соляное зеркало, чтобы выяснить и характер складчатости. Во многих случаях мелкоамплитудная складчатость и микроскладчатость не создают больших осложнений при эксплуатации, как, например, на Старобинском месторождении или на Березниковском и Соликамском участках Верхнекамского. Для ее уточнения обычно достаточно проведения эксплуатационной разведки. Такие месторождения и участки могут быть отнесены к I группе по Классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых. На других участках Верхнекамского (Дурыманский, Балахонцевский) и, возможно, других месторождений эта складчатость более сложна; для ее уточнения и корректировки проектных решений требуется значительный объем дополнительных разведочных работ, обычно проводимых после вскрытия месторождения шахтой. Такие участки и месторождения следует относить ко II группе.

Опробование, анализы, технологические исследования. Геологическая документация керна при детальной разведке должна быть не менее тщательной и полной, но более целеустремленной, чем при предварительной разведке. Она должна включать детальную характеристику породы вплоть до самых мелких прослойков и подробное описание состояния керна. В ней должны отражаться цветовые оттенки, структура породы, размерность кристаллов сильвина или карналлита, галита, других примесей, характер их срастания и прорастания, особенности и распределение нерастворимых примесей, газово-жидкие включения и др. Интервалы описаний не должны превышать интервалы опробования (отбора рядовых проб).

Опробование месторождений калийных солей заключается в отборе проб для сокращенных и более полных химических анализов, для минералогических анализов, для физико-механических испытаний, образцов для петрографических исследований, иногда специальных проб для изучения нерастворимых и труднорастворимых примесей, проб для изучения вещественного состава и различных по объему и массе проб для технологических испытаний. Пробы для химических анализов, как правило, отбираются высверливанием отверстия в керне и сбором порошка. Опробуются все скважины послойно, а при большой мощности однородных слоев поинтервально, с длиной интервала, не превышающей 1—2 м по калийным солям и 5 м по каменной соли. При крутых углах падения соляной толщи интервалы обычно несколько увеличиваются. Сокращенными анализами определяются содержания компонентов, позволяющих выделить продуктивные пласты и слои, а в них — прослои галита и других пород, которые в дальнейшем смогут удаляться селективной отработкой или на первой стадии обогащения. Мощность их может составлять всего 0,7—0,5 м и даже 0,3—0,2 м. В зависимости от состава и строения калиеносных горизонтов этими

анализами определяются содержания K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, н. о., Br^{-1}. Последний необходим для уточнения стратиграфического разреза. При использовании для определения K^+ фотопламенного метода устанавливается содержание Na^+.

Более полными химическими анализами, которые выполняются по пробам, часто объединяющим несколько рядовых проб, кроме всех перечисленных выше компонентов определяются содержания CO_3^{2-}, B_2O_3, Fe_2O_3, нерастворимого в воде и нерастворимого в HCl остатка, Rb^+, иногда Li^+, Cs^+; в ряде случаев производится анализ солянокислой вытяжки, а нередко и анализ нерастворимого в HCl остатка. Соотношения между сокращенными и более полными анализами, а также состав определяемых ими компонентов обычно устанавливаются на стадии предварительной разведки.

Параллельно производятся спектральные анализы и на большей части тех же проб минералогические анализы. Их число должно обеспечивать надежную увязку определяемых компонентов в соли и их пересчет на минеральный состав. Основная часть этих исследований проводится по калиеносным горизонтам. Вмещающая их каменная соль изучается менее детально, в основном по сокращенным анализам; более полные анализы используются для скважин или увеличенных интервалов.

Петрографические исследования производятся по образцам, отбираемым по типичным разностям калийных и калийно-магниевых солей из каждой разведочной скважины. Помимо определения петрографических особенностей породы, в том числе размерности кристаллов основных минералов и примесей; характера их распределения, структуры и текстуры, взаимосвязей, основная задача этих анализов заключается в сравнительной характеристике этих пород и установлении закономерностей в разрезе и по площади месторождения. Особое место занимают петрографические исследования нерастворимых в воде примесей к соли, выполняемые на отдельно отбираемых пробах, нередко совмещаемые с изучением состава солей и нерастворимого остатка.

Пробы для физико-механических испытаний и определения объемной массы отбираются по разреженной сети от калийно-магниевых солей и вмещающих пород и изучаются по программам, согласовываемым с технологическими и проектными организациями, в зависимости от конкретных особенностей месторождения и намечаемого способа обогащения.

Особое место занимает изучение состава солей и нерастворимого остатка, ранее почти не производившееся. Как правило, оно должно выполняться по всем скважинам. Изучение вещественного состава солей заключается в дроблении пробы на фракции и изучении химического и минералогического состава этих фракций, а также их петрографических особенностей. Размерность фракций определяется размерами кристаллов калий-

ных и калийно-магниевых солей и галита; однако учитывая необходимость выпуска крупнокристаллического хлористого калия, лимитируемого гостом, в пробах необходимо выделять фракции—1 мм, (+ 1) —(—4) и +4 мм или более крупную. При изучении нерастворимого остатка могут выделяться фракции +0,5; (-0,5) - (+0,1); (-0,1) - (+0,01); (—0,01) — (+0,005); (—0,005) — (+0,001) и —0,001 мм. Для получения пробы необходимого объема от керна отбираются специальные пробы путем раскола керна с минимальным нарушением петрографических особенностей породы.

Лабораторно-технологические испытания сырья практически должны начинаться с подстадии поисково-оценочных работ. Вначале проводятся простейшие элементарные исследования для принципиальной оценки преимуществ основных способов переработки сырья применительно к калийным солям разведуемого месторождения и участка. Это прежде всего проверка флотируемости солей, качества и состава концентрата и хвостов флотации, а также проверка растворимости и других параметров, существенных для переработки сырья галургическим способом, включая изучение качества концентрата и хвостов.

На стадии предварительной разведки диапазон лабораторных исследований расширяется. Кроме основных способов проверяются и другие, например электростатическая сепарация или вспомогательные, такие как разделение в тяжелых жидкостях и суспензиях, холодное растворение для удаления повышенного содержания магнезиальных солей, шламовая флотация и др. В лабораторных условиях проверяются технологические свойства всех основных разностей солей. Выбирается основной способ обогащения и переработки калийных солей. Число проб для лабораторно-технологических испытаний должно быть резко увеличено. В соответствии с результатами этих испытаний на стадии детальной разведки уточняется необходимый комплекс химических анализов, минералого-петрографических исследований, работ по изучению вещественного состава с преимущественным определением параметров показателей, компонентов и свойств, имеющих важное значение для всесторонней оценки сырья применительно к выбранному способу его переработки.

На стадии детальной разведки наряду с продолжением лабораторно-технологических испытаний на обычных пробах должны проводиться и лабораторные испытания на укрупненных пробах, с проработкой реагентных режимов, аппаратурного оформления, завершающиеся полупромышленными испытаниями на полупромышленных установках, моделирующих аппаратурное оформление и технологический процесс промышленных предприятий, проводимыми в непрерывном режиме. Производство заводских испытаний на тысячетонных пробах необходимо только для принципиально новых, неосвоенных видов сырья.

Доразведка в пределах горного отвода производится на эксплуатируемых месторождениях калийно-магниевых солей для изучения отдельных недостаточно изученных частей месторождения, горизонтов и участков разведанных до категории C_1 или C_2 с целью перевода запасов их в более высокие категории. Обычно она осуществляется путем проходки из действующей шахты разведочных горных выработок (в последнее время комбайновых ходов), бурения из них подземных скважин и опробования выработок и скважин. С поверхности земли проходятся скважины в основном до соляного зеркала.

Эксплуатационная разведка на месторождениях калийно-магниевых солей должна начинаться при подготовке месторождения к отработке с началом проходки шахтных стволов **и** капитальных горно-подготовительных выработок и продолжаться до окончания их эксплуатации. Ее объектом являются участки, подготавливаемые к отработке, а также отрабатываемые панели. Она проводится с опережением эксплуатации на три-четыре года, главным образом с помощью скважин подземного бурения, иногда с комбайновой проходкой разведочных горных выработок, с опробованием скважин, разведочных и эксплуатационных горных выработок, производством химических и минералогических анализов, определением вещественного состава солей и нерастворимого остатка. Второй задачей эксплуатационной разведки является сопоставление данных детальной разведки и эксплуатации с целью их совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О. А.* Общая гидрохимия. М., Гидметеоиздат, 1948.

2. *Александров В. А.* Классификация минеральных вод. Т. I. М., Гослитиздат, 1932.

3. *Борзунов В. М.* Месторождения нерудных полезных ископаемых, их разведка и промышленная оценка. М., Недра, 1969.

4. *Борзунов В. М., Гроховский Л. М.* Поиски и разведка месторождений минерального сырья для химической промышленности. М., Недра, 1978.

5. *Валяшко М. Г., Нечаева А. А., Поленова Т. Б.* Соляные озера Джамбульской области.—Тр. ВНИИГ, вып. XXIV, 1962.

6. *Валяшко М. Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. Изд. МГУ, 1962.

7. *Валяшко М. Г., Поливанова А. И., Жеребцова И. К.* Струйное гравитационное движение и его роль в фо»рмировании и распределении природных вод.— Вестник МГУ. Геология, № 5, 1965.

8. *Вернадский В. И.* История минералов земной коры. Т. П. М., Химтеоретиздат, 1936.

9. *Горбов А. Ф.* Геохимия бора. Л., Недра, 1976.

10. *Гроховский Л. М.* Джаксы-Клычское месторождение сульфатов натрия.— Сборник работ треста «Мосгеолнеруд», 1950, вып. 1.

11. *Гроховский Л. М.* О галитовых озерах Северо-Восточного Приаралья.— Сборник работ треста «Мосгеолнеруд», 1953, вып. 2.

12. *Гроховский Л. М.* Краткие итоги работ Арало-Каспийской экспедиции за 1953—1957 гг.— Сборник работ треста «Мосгеолнеруд», 1959_1 вып. 4.

13. *Гроховский Л. М.* Тенардитовые озера Северного Приаралья.— Сборник работ треста «Мосгеолнеруд», 1959_2, вып. 4.

14. *Гроховский Л. М.* Некоторые особенности изучения и промышленной оценки озерных месторождений солей.— Материалы ГКЗ, сб. 3, М., 1963_1.

15. *Гроховский Л. М.* Соляные озера в засушливых районах СССР и их освоение.— В кн.: Проблемы комплексного изучения засушливых зон СССР. М., 1963_2.

16. *Гроховский Л. М.* Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М., Недра, 1973.

17. *Гроховский Л. М.* Каменная соль.— В кн.: Геология СССР. Т. IV. М., 1974.

18. *Дзенс-Литовский А. И.* Минеральные озера Илецкого соляного купола и их термический режим.— Тр. Лабор. озероведения, вып. II, Л., 1953.

19. *Дзенс-Литовский А. И. О* формировании и классификации подземных вод соляных месторождений и соляных озер.— Сов. геология, 1955, т. 44.

20. *Дзенс-Литовский А. И.* Методы комплексного исследования и разведки озерных соляных месторождений.— Тр. ВНИИГ, вып. XXXIV, 1957.

21. *Дзенс-Литовский А. И.* Донные соляные отложения и погребенные рассолы Кара-Богаз-Гола как новый вид сульфатного сырья.— Тр. ВНИИГ, вып. XXXV, Л., 1959.

22. *Дзенс-Литовский А. И.* Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л., Недра, 1968.

23. *Дзенс-Литовский А. И., Васильев Г. А.* Гидрогеологические условия формирования соляных озер в аридной зоне Средней Азии и проблема их освоения.— В кн.: Полезные ископаемые, энергетические ресурсы пустынь и их использование. Ашхабад, 1963.

24. *Донченко К- Б.* Геологическое строение и особенности генезиса калиеносных отложений Воротищенской серии Предкарпатья.— Литология и полезные ископаемые, М., 1964, т. 3.

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

26. *Иванов А. А., Воронова М. Л.* Галогенные формации. М., Недра, 1972.

27. *Иванов А. А., Левицкий Ю.* Ф. Геология галогенных формаций СССР.—Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1960, т. 35.

28. *Инструкция* по применению классификации запасов к озерным месторождениям солей. М., Госгеолтехиздат, 1961.

29. *Инструкция* и методические указания по обоснованию и расчету кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых. М., Изд. ГКЗ СССР, 1965.

30. *Ковда В. А.* Происхождение и режим засоленных почв. М., Изд-во АН СССР, т. I, 1946; т. II, 1947.

31. *Кореневский С. М.* Основные принципы прогнозирования месторождений калийных солей. М., Наука, 1965.

32. *Кореневский С. М., Воронова М. Л.* Геология и условия формирования калийных месторождений Прикаспийской синеклизы и Южно-Предуральского прогиба. М., Недра, 1966.

33. *Кореневский С. М., Донченко К. Б.* Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Прикарпатья.— Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1963, т. 99.

34. *Курнаков Н. С.* Введение в физико-химический анализ. М., Изд-во АН СССР, 1940.

35. *Классификация* запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.

36. *Методы* анализа рассолов и солей. М., Химия, 1964.

37. *Пермяков Р. С, Раевский В. И., Кудрявцева Н. В.* О целесообразности изменения порядка -разведки месторождений калийных солей и проектирования калийных предприятий.— Тр. ВНИИГ, вып. 64, 1973.

38. *Раевский В. И.* Метод определения плотности разведочной сети, необходимой для выявления зон замещения в калийных солях Верхнекамского месторождения.— Научн. тр. Пермск. политехи, ин-та, 1964, сб. 12, вып. 2.

39. *Раевский В. И.* Допустимая погрешность определения основных горно-геологических параметров при детальной разведке месторождений калийных солей первой группы.— Тр. ВНИИГ, вып. 71, М., 1974.

40. *Месторождения* калийных солей СССР/В. И. Раевский, М. Н. Фивег, В. В. Герасимова и др. Л., Недра, 1973.

41. *Страхов Н. М.* Основы теории литогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1962.

42. *Сулин В. А.* Условия образования, основы классификации и состав природных вод. М., Изд-во АН СССР, **1948.**

43. *Толстихин Н. И.* Нумерация природных вод.— Проблемы советской геологии, 1937, т. VII, № 8.

44. *Толстихин Н. И.* Классификация подземных вод.— Зап. Ленингр. горн, ин-та, 1971, т. 62, № 2.

45. *Фивег М. П.* Методика поисков калийных солей. Л> Наука, 1967.

46. *Щукарев С. А. Толмачева Т. А.* Коллоидно-химическая теория соляных озер — метаморфизация соляных озер при взаимодействии их с коллоидами ила.— Журн. Русск. хим. о-ва, 1930, № 62.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Поваренная соль и сульфат натрия

Общие сведения 4

Требования промышленности к качеству поваренной соли и сульфата натрия 15

Генетические и промышленные типы месторождений поваренной соли и сульфата натрия 25

Поисковые работы, предварительная и детальная разведки 49

Современные соляные озера 50

Месторождения каменной соли и сульфата натрия 72

Калийно-магниевые соли

Общие сведения 110

Требования промышленности к качеству калийных и магниевых солей. 120

Генетические и промышленные типы месторождений 125

Поисковые работы, предварительная и детальная разведки калийно-магниевых солей 133

Список литературы 161

Лев Михайлович Гроховский,

Мария Александровна Гроховская

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ

Редактор издательства *С. Г. Бароянц*

Обложка художника *В. Г. Штанько*

Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*

Технические редакторы О. *А. Болтунова, Н. Ю. Якунинская*

Корректор *Г. Г. Большова*

ИБ 3243

Сдано в набор 17.09.79. Подписано в печать 10.12.79. Т-22116. Формат 60X90 1/16. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая Печ. л. 10,25. Усл.-печ. л. 10,25. Уч.-изд. л. 11,27. Тираж 1450 экз. Заказ 570/7677—2. Цена 60 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»