л. м. гроховский

ОЗЕРНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ, ИХ ИЗУЧЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» МОСКВА, 1972

Гроховский Л. М. Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М., «Недра», 1972, 168с.

В книге приведены сведения о соляных озерах, методах их изучения, разведки и промышленной оценки. Большое внимание уделено режиму соляных озер и его зависимости от испарения. Впервые обобщены данные о питании озер поверхностными и подземными водами, их проточности для грунтовых вод и зависимости от них процессов изменения состава рапы и солевых залежей. Изложены новые рекомендации по изучению режима соляного озера; рекомендованы исследования по установлению направления развития соляного озера и определению стабильности его жидкой и твердой фаз на период эксплуатации. Приведены требования промышленности к качеству солей и рассолов, особенности подсчета запасов и их промышленная оценка.

Работа представляет интерес для специалистов, изучающих озерные месторождения солей.

Таблиц 11, иллюстраций 18, список литературы — 64 названия.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Соляным озерам посвящены многочисленные статьи и книги. Труды Н. С. Курнакова, М. Г. Валяшко, А. И. Дзенс-Литовского, А. А. Иванова, И. Н. Лепешкова и многих других освещают процессы соленакопления, физико-химические процессы, протекающие в соляных озерах, условия образования разных типов соляных озер и отложений солей в них, методы их изучения и разведки.

В данной работе основное место отведено вопросам, слабо освещенным в литературе, спорным, недостаточно выясненным и требующим изучения. К ним относятся: режим соляных озер, условия их питания и накопления в них солей, особенности поисков и разведки озерных месторождений солей, их изучения и промышленной оценки, особенно способы определения их стабильности на период эксплуатации, которые пока не разработаны.

В работе не рассматриваются соляные озера, расположенные вне засушливой зоны, озера карбонатного и хлоридного типов, количество которых очень невелико, а промышленная ценность незначительна.

Одна из основных задач работы заключается в том, чтобы наметить и подчеркнуть основные направления исследований, представляющиеся наиболее важными в дальнейшем изучении озерных месторождений солей и их промышленной оценке, а также ознакомить с ними геологов, занимающихся поисками и разведкой соляных озер.

Глава І ПРОЦЕСС СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ И СОЛЯНЫЕ ОЗЕРА

Как известно, воды, перемещающиеся в земной коре и по ее поверхности или образующие на ней водоемы, всегда содержат растворенные соли. Минимальное количество солей содержится в атмосферных осадках и талых снеговых водах. При движении вод по поверхности или в толще пород содержание солей в них имеет тенденцию к увеличению. Этому способствует испарение вод и, наоборот, препятствует их разбавление выпадающими и инфильтрующимися атмосферными осадками.

В областях с гумидным климатом содержание в воде хорошо растворимых солей, как правило, не достигает насыщения. Эти соли обычно выносятся в мировой океан, в глубокие водоносные горизонты, в области с аридным климатом. Границы областей с гумидным и аридным климатами неотчетливые. Переход между ними может быть или постепенным, или резким. Первый характерен для равнинных местностей, второй — для гористых и предгорий. Границы эти могут перемещаться в зависимости от периодических изменений климата.

Значительное превышение испарения над выпадающими осадками характерно для зон степей, полупустынь и пустынь, отличающихся резко континентальным климатом. В этих условиях концентрация солей в воде может резко увеличиваться на небольших расстояниях, и за короткие отрезки времени они могут выпадать из растворов, образуя хемогенные отложения — не только карбонаты и гипсы, но и галит, соду, сульфаты натрия и магния.

Превышение испарения над осадками является основным условием накопления легкорастворимых солей, образования соляных озер и солевых залежей в них. Однако для образования крупных скоплений солей необходимо наличие и других условий, благоприятствующих этому процессу. К ним относятся: привнос солей к местам их скопления за счет достаточно мощных и длительно действующих источников, нередко расположенных в областях с гумидным климатом; наличие бассейнов их накопления, которыми обычно служат

бессточные котловины; близкое к поверхности залегание грунтовых вод. На обширных площадях Каракумов и Кызылкумов, где грунтовые воды залегают на глубине, превышающей 10—15 м, соляные озера отсутствуют. К таким условиям относятся также благоприятное соотношение различных солей в водах разных источников и соотношение растворимых солей и терригенного материала.

Миграция растворимых солей

Процессы выветривания, денудации, переноса и отложения осадочных пород освещаются во многих работах и обобщены в монографии Н. М. Страхова (1962). Следует только подчеркнуть положения, относящиеся к образованию и накоплению в водах легкорастворимых солей. К ним относится соотношение выноса растворенных в воде солей и механического выноса пород при выветривании. Обычно не учитывается, что механический вынос материала происходит в основном с поверхности и поэтому результаты его более заметны. Химическое преобразование горных пород, а следовательно, и вынос из них растворимых или ставших растворимыми компонентов, как правило, охватывает породы на большую глубину и в значительной части производится инфильтрующимися водами, почвенными растворами на их пути к горизонту грунтовых вод и подземными водами. Поэтому утверждение, что в областях с аридным климатом механическое выветривание полностью подавляет химическое, нельзя признать правильным. В аридных областях при малых ростях перемещения почвенных и подземных вод интенсивность воздействия их на породу резко возрастает и минерализация вод **у**величивается.

Химическое преобразование кластического материала ходит и на пути его к конечным водоемам стока. Это перемещение, как правило, происходит чередующимися стадиями размывания, движения и отложения материала с остановками части последнего на короткое или длительное время. Во время этих остановок перемешаемый материал подвергается воздействию почвенных и грунтовых вод с различным составом растворенных солей, с разной величиной Е и рН. В долинах рек, например, происходит смешение русловых богатых кислородом вод и почвенных и грунтовых вод, часто меняющих свой состав и свойства в пределах террас и пойм, где развиты богатая растительность, иногда болота и торфяники. В этих условиях рН в водах снижается до 6-4, так что транспортировку материала нельзя рассматривать только как механический перенос. Это относится, например, к железу, которое неоднократно переходит из гидроокиси в подвижную двухвалентную форму и снова выпадает в виде гидроокиси. В миграции кальция наблюдается неоднократный переход его из бикарбонатной формы в карбонатную и обратно, а также поглощение его иона почвами и глинами и возврат его в воду при изменении среды. Этот процесс в почвах изучался еще К. К. Гедройцем.

Несмотря на разнообразие соляных озер, в составе их солей и рассолов катионы представлены преимущественно ионами Na, Ca, Mg K, а анионы — CO_3 , HCO_3 , SO_4 и Cl. В небольших количествах присутствуют бром, бор, кремний, литий. Все основные компоненты рапы и солевых залежей соляных озер, если не считать взвешенной в воде мути и переносимой ветром пыли, поступают в озера в растворенном виде. Однако пути и особенности миграции этих элементов далеко не одинаковы.

Наиболее короткий путь проходят соли из размывающихся древних соляных отложений в соляные озера, нередко приуроченные к компенсационным впадинам (Индер, Баскунчак и др.). Но даже и при таком коротком пути состав солевых залежей подобных озер далеко не идентичен составу древних соляных залежей. Несравненно более сложной и различной для разных солей и ионов представляется миграция их до соляных озер в более типичных условиях континентального соленакопления, где наиболее подвижным является ион хлора, который почти весь цикл миграции от выщелачивания из материнских пород до солдвых залежей проходит в растворе почвенных, грунтовых, речных, морских и озерных вод.

Большой подвижностью отличается ион натрия, основная масса солей которого транспортируется в растворенном виде. Однако часть ионов натрия поглощается коллоидными соединениями почвы и минералами глин и некоторое время задерживается ими, особенно в условиях аридного климата, когда в почве нередко встречаются карбонаты и сульфаты натрия.

Иной характер имеет миграция калия. Он дольше натрия задерживается в зоне выветривания, быстрее образует вторичные силикатные соединения, захватывается глинами и почвенными коллоидами. Увеличение содержания натрия в речных и грунтовых водах почти не сопровождается увеличением содержания калия, а в рапе соляных озер оно не превышает сотых и редко десятых долей процента.

Ион магния в крупные бассейны аридных областей поступает главным образом с речным транзитным стоком; с местным речным стоком его поступает мало. Повышенное содержание магния часто характерно для грунтовых вод. Возможен вынос его грунтовыми водами при разложении не только осадочных, но и магнезиальных магматических пород даже в условиях аридного климата.

Сульфат-ион наряду с поступлением его в районы соленакопления с речным стоком образуется и в этих районах за счет окисления сульфидов изверженных и осадочных пород и переносится подземными водами. На его пути к конечным водоемам возможно неоднократное выпадение гипса и его растворение.

Карбонаты и бикарбонаты в условиях аридного климата имеют ограниченные пути миграции. Благоприятные условия для перемещения их на значительные расстояния создаются в очень ограниченных районах содового засоления.

Сложен и разнообразен путь растворимых солей к соляным озерам. Неодинаков он не только для разных компонентов солей, но

различен и в разных районах, где на общий процесс соленакопления накладываются те или иные особенности, связанные с различием физико-географических, геологических и гидрогеологических условий.

Озерные котловины, их строение и происхождение

Накопление солей имеет различные формы. Оно происходит в виде увеличения содержания солей в воде морей и крупных озер, засоления обширных территорий за счет испарения при капиллярном поднятии грунтовых вод, увеличения минерализации грунтовых и более глубоких подземных вод, образования солончаков и соров и, наконец, накопления солей в жидкой и твердой фазах соляных озер.

Все соляные озера приурочены к пониженным участкам рельефа, называемым обычно озерными котловинами. Последние имеют самые различные размеры — от сотен квадратных метров до тысяч квадратных километров. Глубина озерных котловин колеблется от едва заметных блюдцеобразных вогнутостей рельефа до понижений и впадин, углубленных на несколько десятков метров. Склоны впадин могут быть очень пологими и очень крутыми — до вертикальных обрывов (чинки Устюрта, окаймляющие некоторые из котловин, например Карын-Жарык). В склонах впадин иногда прослеживаются террасы, береговые валы, русла, овраги. Реже в них впадают речки или ручьи. В крупных котловинах (Карын-Жарык, Алтайсор, Арыс и др.) на пологих склонах развиты массивы бугристых песков. В наиболее пониженных частях впадин располагаются соляные озера (иногда целые группы) соединенные протоковидными понижениями или сухими руслами.

Геологическое строение озерных котловин разнообразно как по возрасту, так и характеру слагающих их пород (песчаные и глинистые образования разного генезиса, реже карбонатные, иногда даже изверженные породы). Обычно дно таких котловин слагается четвертичными, реже третичными песчано-глинистыми отложениями. В склонах же их, особенно крутых, могут обнажаться породы более древнего возраста.

Озерные котловины встречаются в прибрежных частях крупных водных бассейнов, в долинах и дельтах современных и древних, действующих и пересыхающих рек, среди массивов бугристых песков, по окраинам плато (подобных Устюрту). Некоторые впадины углублены ниже уровня океана.

Озерные котловины часто называют бессточными. Что касается поверхностного стока, то это большей частью справедливо. Подземный же сток, в той или иной мере затрудненный, имеют почти все озерные котловины. Если сток из них ничтожен или отсутствует, озера называют конечными. Изменение климатических или физикогеографических условий иногда приводит к тому, что озера из конечных превращаются в проточные, а последние могут превратиться в конечные.

Существуют различные гипотезы происхождения озерных котловин. В приморских районах происхождение котловин почти во всех

случаях связывалось с отшнуровыванием заливов и бухт барами и косами. Широкое распространение получили гипотезы реликтового, флювиогляциального, провального и карстового, суффозионного, тектонического, аллювиального и дефляционного происхождения. Однако ни одна из этих гипотез не может иметь универсального значения. Чаще всего возникновение котловин вызвано суммарным действием нескольких факторов, например эрозии, аккумуляции и дефляции. Е. В. Посохов (1955) предлагает при решении вопроса о происхождении котловин различать главные факторы, под действием которых они в основном образованы, и факторы второстепенные, преобразовавшие уже существующие котловины. Исходя из главных факторов, он выделяет генетические группы озерных котловин: эрозионные, (плотинные), дефляционные, тектонические, карстовые, реликтовые.

Разделяя в основном представление Е. В. Посохова о происхождении озерных котловин, следует отметить, что им преувеличиваются масштабы образования собственно плотинных котловин из приуроченных к речным долинам. В действительности образование большинства из них связано со строением самих речных русел, представленных чередующимися перекатами и плесами, превышения между которыми достигают иногда 10-20 м. При изменении базиса эрозии углубленные участки русел дают начало бессточным котловинам, в дальнейшем формировании которых могут участвовать дефляционные процессы. Роль дефляции в формировании котловин значительна, однако ее не следует переоценивать, так как в котловыдувания в массивах песков соляных озер, представляющих промышленный интерес, обычно не образуется. Котловины карстового происхождения имеют ограниченное распространение. Котловины же тектонического происхождения встречаются разных районах, но В небольшом количестве. Для целого ряда остается недостаточно выяскотловин происхождение крупных шенным.

Условия образования и существования соляных минералов

В каждом соляном озере из раствора, который называется рассолом или рапой, происходит садка трудно- и легкорастворимых солей. Последние могут переходить в раствор и снова выпадать из него при сравнительно небольших изменениях концентрации в нем солей, температуры, а также условий питания озера.

Как известно, выпадение солей из раствора подчиняется определенным правилам, связанным с различной растворимостью их. Впервые изучение порядка кристаллизации солей из морской воды при ее испарении при температуре 40° было проведено Узильо на соляном промысле Сетт во Франции более 130 лет назад. Крупный вклад в изучение условий кристаллизации и существования солей внесли лабораторные исследования Вант-Гоффа (1852—1911), по-

зволившие построить диаграмму равновесной системы: 2K, 2Na, Mg, SO_4 , 2C1, H_2O при температурах 25 и 83° . Д'Анс в 1915 г. обобщил как свои исследования, так и исследования Вант-Гоффа по растворимости в этой системе при температурах 25, 83, 0 и 55° .

В результате многолетних исследований рассолов соляных озер, начатых Н. С. Курнаковым и С. Ф. Жемчужным, опубликованных впервые в 1900 г. и продолженных Н. С. Курнаковым и В. И. Николаевым (1939), был открыт так называемый «солнечный» путь кристаллизации солей из морской воды и построена «солнечная» диаграмма испарения. Этими исследованиями было показано, что в природных условиях выпадение из рассолов солей при испарении происходит иначе, чем это следует из диаграммы Вант-Гоффа, характеризующей стабильные равновесные состояния. В. И. Николаевым и др. (1935) было показано, что в природных условиях вместо астраханита, который должен выпадать вслед за галитом, продолжает кристаллизоваться галит, к которому затем присоединяется эпсомит. В природе кристаллизация солей идет по метастабильному пути. История этих исследований изложена М. Г. Валяшко (1962).

В соляных озерах перечень соляных минералов ограничивается гипсом, галитом, мирабилитом, эпсомитом, астраханитом, тенардитом, глауберитом и встречающимися значительно реже содой, термонатритом, троной, беркеитом, гидрогалитом, бишофитом и карналлитом.

Соли нередко образуют пересыщенные растворы. Одни из них выпадают в осадок только при наличии «затравки», другие непосредственно из рапы вообще не выпадают, а образуются в солевой залежи за счет перекристаллизации других выпавших солей.

Выпадение из рапы мирабилита происходит при температурах около 0° ; летом наблюдается его растворение. Галит выпадает преимущественно летом, в период наибольшего концентрирования рапы. Зимой, а чаще весной вследствие опреснения рапы выпавший летом галит нередко полностью растворяется. В разных условиях выпадают и другие минералы.

Экспериментальными исследованиями системы $MgSO_4 + 2NaC1 <=> <=> Na_2SO_4 + MgCl$, проводившимися в ИОНХе АН СССР и ВНИИГе в течение последних десятилетий большими группами исследователей, были установлены условия выпадения из рапы мирабилита, тенардита, эпсомита (Пельш, 1949; Бергман, Лужная, 1951). Эти исследования позволили сделать некоторые выводы.

- 1. При температурах, близких к 0° , из рапы соляных озер, насыщенной NaCl, сульфат натрия выпадает почти полностью в виде мирабилита. При наличии в рапе магнезиальных солей или более низком содержании NaCl содержание в ней сульфат-иона в пересчете на Na,SO₄ при 0° не превышает 4,4%.
- 2. С повышением температуры содержание Na_2SO_4 в рапе резко возрастает, достигая при $32,38^\circ$ максимально 33,24%. Выше этой температуры из рапы выпадает тенардит.

3. При благоприятных условиях тенардит из рапы может выпадать и при более низких температурах. Насыщение рапы NaCl может понижать температуру образования тенардита до 17,9°, а присутствие магнезиальных солей — до 16,2°.

Понижение растворимости сульфата магния при понижении температуры менее значительно, чем Na_2SO_4 . При температурах ниже $+1,8^\circ$ из рапы кроме эпсомита может выпадать также $MgSO_4$ X X $12H_2O$. Наличие в рапе хлорида магния влияет на растворимость $MgSO_4$ примерно так же, как присутствие NaCl на растворимость Na_2SO_4 , особенно при низких температурах. Из рапы, насыщенной $MgCl_2$, при 0° при содержании в ней $MgSO_4$ всего 1,3% выпадает эпсомит. Это обстоятельство весьма важно для объяснения условий образования в озерах пластов эпсомита или смешанной соли — галита и эпсомита.

А. Д. Пельшем (1949) проведены весьма обширные исследования системы $MgSO_4 + 2NaCl <=> Na_2SO_4 + MgCl$, которыми установлено, что нижний температурный предел выпадения из рапы астраханита $+ 5.85^{\circ}$. Однако выпадение из рапы астраханита при этой температуре крайне затруднено. Даже при более высоких температурах (до 13.9°) вместо него выпадают галит и эпсомит или мирабилит и эпсомит. Неоднократно отмечалось, что и при 25° при изотермическом испарении рассола образование астраханита происходит крайне медленно. В. М. Букштейном было установлено, что образование астраханита многократно ускоряется в условиях резких колебаний температуры раствора.

Растворимость галита, как и хлоридов магния, мало изменяется в пределах температур, наблюдающихся в водоемах в течение года-Повышение содержания $MgCl_2$ обычно вызывает садку галита при более низких содержаниях NaCl в рапе. Как показали работы А. Д. Пельша (1949), из растворов Na_2SO_4 и NaCl садка гидрогалита происходит при температурах ниже $0,1^\circ$. Садка бишофита в озерах наблюдается редко.

Соляные озера и солевые залежи

К соляным принято относить озера, в которых содержание солей в воде превышает содержание их в воде океана, т. е. больше 3,5%. Однако соляными считают и озера, состояние которых изменяется по сезонам и при чередовании засушливых и увлажненных лет — от озера со слабо соленой водой до солончака с коркой соли. К соляным озерам относят также и небольшие озерца, имеющие несколько метров в поперечнике. В настоящей работе мы сочли целесообразным основное внимание сосредоточить только на достаточно крупных и стабильных соляных озерах, могущих представлять интерес в качестве объектов возможной эксплуатации. В кадастрах конца прошлого и начала текущего столетия к промышленным относились бесчисленные озерца, из которых добывались всего десятки и сотни тонн соли. Подобные озера, питавшиеся часто только за счет мест-

ного стока, длительное время вводили в заблуждение исследователей как в отношении источников питания континентальных озер, так и в отношении направления развития соляных озер, которое на таких объектах проследить трудно.

Соляные озера, которые с точки зрения современных требований промышленности можно считать озерными месторождениями солей, отличаются от приведенных выше большей стабильностью режима, состава рапы и твердых соляных отложений, источников питания.

Среди соляных озер выделяются три группы: 1) озера, в которых соли заключены только в жидкой фазе; 2) озера, в которых под слоем рапы имеются отложения солей; 3) озера, в которых основная масса солей находится в твердой фазе. Разумеется, деление это условное, так как озера со временем переходят из одной группы в другую. Наиболее характерны такие переходы для озер, расположенных в краевых частях засушливой зоны.

Соляные озера, не имеющие на дне солевых отложений, часто называют рапными или иловыми. Как правило, они имеют небольшую глубину, редко превышающую 2-3 м. Неровности дна обычно сглажены накоплениями илов. Озеро окружает пляжевая полоса, которая отделяется от коренного берега или террас уступом высотой 0,5-1,0 м и выше, образованным волноприбойными проявлениями. Большая часть пляжевой полосы в разной степени заболоченная, нередко топкая, засоленная и загипсованная. Часто ее называют соровой полосой. Слагается она мелкозернистыми песками, большей частью заиленными. На ее поверхности нередко наблюдаются корочки гипса, карбонатные конкреции (Виталь, 1950), выцветы солей, пятна и полосы красноватого и бурого цвета, образовавшиеся за счет выпадения окислов железа, иногда бугры, сложенные гипсом и обезвоженным порошком мирабилита. Большая ширина соровой полосы обычно наблюдается на участках интенсивного поступления в озеро грунтовых вод.

Уровни рапы в рапных озерах в течение года изменяются до 0,5—0,8 м; в многолетних периодах колебания их могут достигать нескольких метров. Изменения уровня обычно сопровождаются изменениями минерализации рапы. Амплитуда этих изменений зависит от испарительных возможностей района, от условий питания озера и массы накопленных в озере солей. Наиболее низкая минерализация рапы наблюдается зимой и весной, когда испарение почти прекращается, а поступление в озеро воды наиболее велико.

По солевому составу в озерах преобладают рапы с преимущественным содержанием в них хлоридов и сульфатов. Озера с карбонатным составом рапы встречаются редко. В рапных озерах с высокой концентрацией солей преобладает ион хлора, а сульфат-ион занимает второе место. Исключения сравнительно редки. В большинстве озер ион натрия преобладает над ионом магния. Однако это преобладание обычно не настолько велико, чтобы в озерах садка галита резко преобладала над садкой мирабилита.

Садка из рапы эпсомита наблюдается редко. При невысокой минерализации рапы садится только мирабилит.

Соляные озера, заключающие под слоем рапы пласты солей, также называют рапными или садочными озерами. Основным отличием их является более высокая концентрация солей в рапе. Рапа озер этой группы обычно насыщена солями настолько, что почти ежегодно происходит выпадение их в осадок, часть которого может не переходить обратно в рапу, а увеличивать мощность соляных отложений. В краевых частях засушливой зоны в периоды увлажнения садки солей может не происходить, иногда растворяется даже часть солевой залежи. Соровая полоса озер второй группы по сравнению с первой становится более отчетливой, особенно ее заболоченная часть.

Рапа озер этой группы содержит ионы Na, Mg, Cl, SO $_4$ в разнообразных соотношениях. Озера с высоким содержанием в рапе карбонатов встречаются очень редко (содовые озера), а с высоким содержанием $CaC1_2$ еще реже. В большинстве озер этой группы содержание иона Na преобладает над ионом Mg. Ион C1 резко преобладает над ионом SO $_4$ в основном в холодное время года; летом содержание их выравнивается, а в конце лета, после садки галита, ион SO $_4$ иногда преобладает над ионом C1. Солевые залежи этих озер чаще всего представлены пластами мирабилита и галита.

Соляные озера, заполненные отложениями солей, поверхностная рапа в которых появляется, как правило, только в холодное время года, называют «сухими» озерами. Рапа этих озер разделяется на поверхностную и донную; последняя в свою очередь разделяется на межкристальную и иловую. Межкристальная рапа заполняет поры в пластах солей, иловая — в слое ила, подстилающем и окаймляющем солевую залежь. Пористость солей колеблется от 10 до 30—35%, пористость ила иногда достигает 50%. Поверхностная рапа в холодное время поднимается на 30—50, иногда до 100 см. Она большей частью обеднена сульфатами из-за выпадения из нее мирабилита и нередко обогащена хлоридом магния.

В сухих соляных озерах, где сверху залегает пласт галита, минерализация поверхностной рапы в осенне-зимне-весеннее время понижается в 1,5—2 раза, достигая 180—120 г/л, а затем быстро восстанавливается до 220—280 г/л. В озерах, где сверху залегает пласт мирабилита или тенардита, минерализация рапы в холодное время года иногда понижается до 70—30 и даже до 10 г/л. На поверхности таких озер изредка появляется лед. В жаркое время года минерализация рапы, появляющейся после ливневых дождей, может возрастать до 300—350 г/л.

Межкристальная рапа «сухих» озер, как правило, насыщена солями, которыми слагаются заключающие ее пласты. Содержание в ней других солей изменяется в широких пределах. Иловая рапа этих озер пока очень мало изучена. В слое ила, подстилающем солевую залежь, минерализация и состав рапы могут быть близ-

кими к минерализации и составу межкристальной рапы слоя соли, покрывающего ил.

Соровая полоса «сухих» озер большей частью хорошо выражена, характеризуется наиболее вязкими и топкими участками, расположенными на границе с солевой залежью, где ил более разжижен. Зимой и весной она полностью или частично заливается поверхностной рапой. На озерах, в которых поверхностная рапа появляется не каждый год, соровая полоса частично или полностью отсутствует.

Солевые залежи «сухих» озер по составу слагающих их пластов более разнообразны, чем солевые залежи рапных озер. Они заключают от одного до четырех и более пластов различных солей — галита, астраханита, мирабилита, эпсомита, тенардита, глауберита. Озера с одним пластом, представленным галитом или мирабилитом, встречаются сравнительно редко. Мощности пластов солей изменяются в широких пределах: мощность пласта галита на одних озерах достигает 1,5—2,5 м, на других не превышает 10—20 см; мирабилита от 0,1 до 2—3,5 м; эпсомита — до 0,5—1,0 м; астраханита — до 0,5—1,0 м, редко до 2 м; тенардита — 0,2—0,6, редко 0,8—1,0 м.

Глава II

КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛЯНЫХ ОЗЕР

По мере изучения соляных озер все более выявлялось их многообразие, возникала необходимость их сопоставления, установления общих закономерностей их образования и развития. Первые попытки систематизации озер большей частью носили утилитарный характер: озера с хорошей солью; с горькой солью, с ежегодной садкой соли; с садкой соли не каждый год; со старой садкой; с корневой солью; с каратузом; с гранаткой.

Процесс соленакопления проявляется прежде всего в увеличении минерализации вод. Поэтому одним из первых признаков для классификации его интенсивности стала концентрация в воде растворимых солей. Так, В. И. Вернадским (1933—1935) воды подразделялись на пресные, слабо минерализованные или солоноватые, минерализованные или соленые и рассолы, содержащие соответственно $0,001-0,1;\ 0,1-1,0;\ 1-5$ и 5-40 вес.% солей. Химический состав солей, растворенных в природных водах, чрезвычайно разнообразен. В. И. Вернадским было выделено 485 видов природных вод с разным содержанием различных солей.

Ход и характер соленакопления проявляются наиболее заметно в изменении содержаний небольшой группы катионов (К', Na', Mg'', Ca'') и анионов (CO"₃, HCO'₃, SO₄", C1'). Поэтому почти все классификации природных вод по химическому составу основываются на выделении типов, классов и групп, различающихся по соотношению приведенных катионов и анионов. К ним относятся классификации Н. И. Толстихина (1937), С. А. Щукарева (1930),

В. А. Александрова (1932), В. А. Сулина (1948), О. А. Алекина (1948) и др. В основу их большей частью положено количественное преобладание одних ионов над другими.

Положение с классификацией соляных озер представляется значительно сложнее, так как волы различного состава и происхождения в озерах увеличивают концентрацию в них солей, превращаются в рассолы, соли из них переходят в твердую фазу, активно взаимодействующую с жидкой фазой озера. Положение с классификацией озер усложняется также и сочетанием в озерах процессов физико-химических с процессами геологическими, выражающимися в связи озера с внешней средой, с условиями питания его водой и солями часто за счет нескольких источников. Возможно, именно поэтому в систематизации соляных озер длительное время применялись различные принципы, как правило, характеризующие соляные озера односторонне. Так, хлоридными, сульфатно-хлоридными или сульфатными назывались озера то с преобладанием соответствующих анионов в рапе, то с определенным составом твердых отложений солей. К озерам морского происхождения относились все озера, расположенные на небольшом удалении от моря. Озера в долинах рек относились к речному соленакоплению. Для некоторых озер принималось поступление в них глубоких напорных подземных вод. К сожалению, все эти предположения не подкреплялись анализом геологической и гидрогеологической обстановки, физико-химической сущности процессов, протекающих в озере, изучением характера связей его с внешней средой и поэтому нередко были ошибочными.

Начало обоснованной гидрохимической классификации соляных озер, увязывающей химический состав рапы с направлением развития соляных озер, было положено Н. С. Курнаковым (1940), подразделившим соляные озера по составу рапы на два основных класса. К первому классу он относил озера, рассолы которых содержат хлориды натрия и магния, сульфаты кальция, магния и натрия; ко второму — озера, в рассолах которых количество сульфат-иона достаточно только для образования CaSO₄ и содержится CaCl₂. Рассолы озер первого класса постепенно теряют сульфат-ион и переходят в рассолы второго класса.

Процесс потери рассолом сульфат-иона Н. С. Курнаков назвал процессом метаморфизации. Для характеристики этого процесса ям предложены характерные коэффициенты. Для озер первого класса $K(MgSO_4/MgCl_2)$ может колебаться от 0 до бесконечности, указывая на различную степень метаморфизации рапы. Для озер второго класса характерен $K(MgCl_2/CaCl_2)$. Если в рапе озера первого класса содержание $MgCl_2$ равно 0, процесс метаморфизации такой рапы выражает так называемый «сульфатный» коэффициент $K(Na_2SO_4/MgSO_4)$. Несмотря на то что к настоящему времени представления о выделен-

ных Н. С. Курнаковым классах существенно изменились, основы этой классификации вошли в последующие работы, а поднятые им вопросы метаморфизации озерных рассолов не потеряли своего значения и до сих пор.

Дальнейшее развитие, разработка и совершенствование гидрохимической классификации соляных озер начиная с 1932 г. осуществлялись М. Г. Валяшко (1952, 1962). Им были выделены три типа рассолов соляных озер — карбонатный, сульфатный и хлоридный; в сульфатном типе выделены сульфатно-натриевый и сульфатномагниевый подтипы; им же было предложено различать воды пресные с минерализацией до 0,1%, солоноватые — от 0,1 до 3,5%, соляные — с минерализацией 3,5% и выше. М. Г. Валяшко (1952) уточнено понятие о рапных и «сухих» озерах, введено понятие о подпесочном озере, обосновано выделение разностей галита — новосадки, старосадки, корневой соли, распространенное и на другие озерные соли, предложено разделение озер на иловые, самосадочные и корневые.

Желая отразить специфику развития соляного озера как формирующегося месторождения солей, М. Г. Валяшко (1952) предложил следующие классификационные признаки: 1) концентрацию озерного рассола; 2) состав озерного рассола; 3) состояние озерного рассола; 4) наличие твердых отложений солей и их состав.

По концентрации озерного рассола выделяются три группы вод и соответственно три группы озер: пресные, солоноватые и соляные.

По составу озерного рассола минерализованные воды, а соответственно и заключающие их соляные озера разделяются на три основных химических типа: карбонатный, сульфатный и хлоридный.

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

Сульфатный тип подразделяется на два «подтипа: сульфатнонатриевый с составом Na_2SO_4 , NaCl, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$; сульфатно-магниевый (хлор-магниевый) с составом NaCl, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$. Каждый из подтипов может быть разделен на две группы по относительному богатству ионами HCO_3 ' относительно ионов Ca^m и Mg^m .

Хлоридный тип характеризуется составом: NaCl, MgCl₂, Ca(HCO₃), CaSO₄, CaCl,.

По состоянию озерносо рассола (рапы) различаются рапные, сухие и подпесочные озера. Рапное озеро характеризуется наличием поверхностной рапы (воды) в озере в течение всего года. Сухое озеро сохраняет поверхностную рапу только в течение влажного периода года. Подпесочное озеро не имеет поверхностной рапы в течение всего года.

По наличию и составу солевых отложений соли в озерах разделяют на новосадку, старосадку и корневую соль. Новосадка — это соль, выделившаяся из поверхностной рапы в годичном цикле. В том же цикле она может переходить обратно в раствор. Различаются новосадки галита, гидрогалита, мирабилита, эпсомита и т. д.

Старосадка — соль, выпавшая из поверхностной рапы и сохранившаяся в донных отложениях-, чаще в скелетных (для галита в зубовидных) формах кристаллов. Корневая соль — соль, выделившаяся из донной рапы за счет высаливания, охлаждения или перекристаллизации старосадки и образующая полногранные формы кристаллов. Различают корневые галит, астраханит и др.

По наличию в озере перечисленных видов солей различают: и ловое озеро, не имеющее донных отложений солей; если оно относится к типу сухих озер, его можно назвать озером-солончаком; самосадочное озеро, имеющее только новосадку, появляющуюся и растворяющуюся в течение одного годового цикла; корневое озеро, имеющее отложения старосадки и корневых солей. Корневые отложения могут быть представлены той же солью, что и новосадка и старосадка, но могут состоять и из других солей. Если озеро имеет только старосадку, его называют садочным.

В иловом озере поверхностная и донная рапы не достигают насыщения ни одним из периодических минералов (солей). В самосадочном озере поверхностная рапа в отдельные периоды достигает насыщения одним или несколькими периодическими минералами; донная рапа не насыщена. В корневом озере поверхностная рапа периодически достигает насыщения, а донная рапа насыщена одним или несколькими минералами.

Приведенная классификация соляных озер принята ВНИИГом для учета соляных ресурсов. Однако значение ее представляется гораздо большим, если учитывать, что она является удобной и необходимой для многочисленных организаций и исследователей, занимающихся изучением соляных озер и процесса соленакопления.

А. И. Дзенс-Литовским (1968) приведенная классификация дополняется выделением типов озер по происхождению их котловинложбин. Им выделяются: 1) водоемы в котловинах морского происхождения, или приморские, 2) водоемы в котловинах материкового происхождения, или континентальные, и 3) водоемы в котловинах смешанного происхождения, или континентально-морские. Приморские озера им разделяются на подтипы: устьевые, лагунные и Континентальные озера разделяются на подтипы: эрозионно-карстовые, дефляционно-котловинные, дельтовые, русловые, суффозионные, тектонические, сопочные и антропогенные. Такая классификация соляных озер представляет известный интерес и в некоторой мере позволяет разобраться в вопросах происхождения озерных котловин, в условиях существования соляных озер, их питания и режима. Но, как указывает и ее автор, часто весьма трудно провести границу между котловинами континентального и морского происхождения. Можно добавить к этому, что такую границу трудно провести и между любыми подтипами.

Попытка «усовершенствовать» классификацию М. Г. Валяшко была предпринята Е. В. Посоховым (1968), который предлагает хлор-магниевый подтип перевести из сульфатного в хлоридный тип,

разделив последний на хлор-магниевый и хлор-кальциевый подтипы. По мнению Е. В. Посохова (1968), с такой поправкой классификация М. Г. Валяшко совпадает с классификациями В. А. Сулина (1948) и О. А. Алекина (1948). С этим мнением, как и с поправкой в выделении типов и подтипов, вряд ли можно согласиться. Принципы выделения типов вод по химическому составу, заложенные в эти классификации, различны. Совпадение между ними только внешнее, по терминологии, поэтому и объединять или смешивать их нецелесообразно. Что касается поправки Е. В. Посохова, то она полностью искажает смысл классификации М.Г. Валяшко, удаляя из нее основное — систему физико-химических равновесий, определяющую те твердые соли, которые могут выпадать из рассолов данного состава.

Следует отметить анализ существующих классификаций природных вод, произведенный Ю. П. Никольской (1961). Этот автор правильно критикует классификации, основывающиеся на преобладающих ионах. Однако предлагаемая ею классификация повторяет классификацию, разработанную М. Г. Валяшко, с тем отличием, что Ю. П. Никольская предлагает сульфатный тип разделить на два самостоятельных типа: сульфатный и сульфатно-хлоридный, соответствующие сульфатно-натриевому и хлор-магниевому подтипам М. Г. Валяшко. Выделение их в качестве самостоятельных нельзя признать правильным по причинам, указанным выше.

Классификация, разработанная М. Г. Валяшко (1952), представляется нам наиболее обоснованной. В то же время хотелось бы отметить те положения, которые она освещает недостаточно. Озера сульфатного типа в настоящее время резко преобладают над озерами других типов. Внутри этого типа мало озер, относящихся к сульфатно-натриевому подтипу. К тому же во многих таких озерах состав рапы периодически переходит в сульфатно-магниевый подтип, а иногда даже доходит до границы сульфатного и хлоридного типов. Это зимнее обессульфачивание рапы классификацией не учитывается. Предлагаемое М. Г. Валяшко, а также Ю. П. Никольской и другими авторами классификаций разделение вод на группы магниевых и кальциевых по содержанию в них $Mg(HCO_3)_2$ или $CaSO_4$ мало помогает, так как во многих озерах рапа по своему составу в отдельные сезоны года переходит из одной группы в другую.

Для систематизации соляных озер по более дробным группам могли бы служить условия и основные источники питания соляных озер, а также сочетание их с климатическими условиями района. Но этот вопрос еще нуждается в дальнейшем изучении.

Необходимо подчеркнуть, что классификация М. Г. Валяшко является гидрохимической, т. е. основанной на процессах, протекающих в жидкой фазе различных типов соляных озер. Одним из ее важнейших достоинств является прослеживание закономерных изменений в жидкой фазе соляных озер до образования твердой фазы и классификация выделившихся из рапы твердых отложений солей, их состояния и состава.

Классификация соляных отложений при значительном разнообразии их в соляных озерах, особенно в «сухих», по-видимому, может быть разработана более детально, с учетом развития озера и вторичных, диагенетических изменений в солевых залежах озер. Для многих соляных озер, относящихся к сульфатному типу, состав и строение отложений солей могут определять историю их развития, направление происходящих в них изменений и их место внутри таких крупных подразделений, как тип и подтип.

При изучении соляных озер Северного Приаралья (в 1945—1948 гг.), которых в пределах этого района насчитывается несколько сотен, назрела необходимость разделения их на группы, объединяющие озера, близкие по составу и строению солевых залежей, составу рапы и режиму. Поэтому нами (Гроховский, 1950, 1953, 1959) было предпринято несколько попыток их классификации, которые, как нам казалось, могли дополнить раздел классификации М. Г. Валяшко о «сухих» соляных озерах.

По концентрации рассола все озера относились к соляным, но нередко с большими колебаниями концентрации во времени и в разных частях озера (межкристальная рапа). Все они относились к сульфатному типу, но разделение их на подтипы оказалось весьма трудным: рапа иногда переходила из одного подтипа в другой, а на некоторых озерах она даже была сульфатно-натриевой в одной половине озера и хлор-магниевой в другой. В озерах с несколькими пластами солей рапа имела разный состав. Коэффициенты метаморфизации во времени и в разных частях озера были очень пестрые, что противоречило высказываниям А. А. Иванова (1953) о постоянстве состава межкристальной рапы. Все озера относились к «сухим». Разделение озер по минеральному составу их солевых залежей также оказалось неудачным. По мере изучения озер района выделялись все новые группы озер. Сначала были выделены мирабилитовые, тенардитовые, галитовые, тенардито-мирабилитовые, затем галитотенардито-мирабилитовые. галито-астраханито-мирабилитовые. дито-тенардито-астраханито-мирабилитовые. галито-астраханитоэпсомито-мирабилитовые и т. д. Когда же были выявлены прослои глауберита, названия озер еще более усложнились и стали почти несопоставимыми. Одна из попыток такого деления озер нашла отражение в нашей статье 1950 г.

Позже (1953 г.), учитывая минеральный состав солевых залежей и особенности межкристальной рапы озер, для разделения их на сравнительно крупные группы нами были использованы особенности их режима и современные условия питания водой и солями, т. е. характер связи их с грунтовыми водами. Наблюдения показали, что условия этой связи различны для озер с пластом мирабилита и озер с пластом галита. Это позволило выделить группу мирабилитовых и группу галитовых озер, в которых сверху залегал пласт галита, а под ним большей частью пласты сульфатных солей. Впоследствии нами была выделена и группа тенардитовых или тенардитомирабилитовых озер, занимающая по условиям питания и режиму

промежуточное положение между галитовыми и мирабилитовыми озерами.

Разумеется, деление «сухих» соляных озер (рис. 1 и 2) на указанные группы не является чем-то новым: они давно были известны.

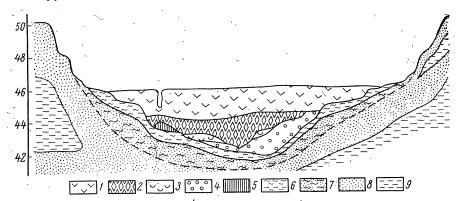


Рис. 1. Разрез галитового оз. 18г. 1 — галит; 2 — астраханит; 3 — эпсомит; 4 — мирабилит; 5 — кашеобразный глауберит; 6 — ил; 7 — илистый песок; 8 — песок; 9 — суглинок, глина.

Озера относились к ним по минеральному составу солевой залежи Новым является иное значение, которое вкладывается в это понятие, а также более обоснованный и рациональный принцип разделение

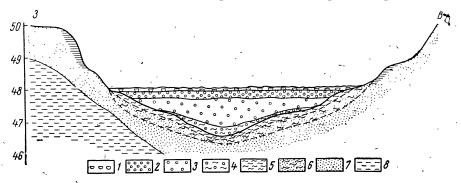


Рис. 2. Разрез мирабилитового оз. 20. i=1 — «нагар» мирабилита; i=1 — плотный мирабилит; i=1 — крупнокристаллический мирабилит; i=1 — плотный песок; i=1 — суглинок, глина.

озер с твердыми отложениями солей. Были выделены и более дроби ные подразделения этих групп. Была установлена также родственная связь между этими группами, выражавшаяся в том, что принадлежность к той или иной группе для большинства озер определялась стадией развития соляного озера после перехода его в «сухое» озеро. Несмотря на то что группы мирабилитовых, тенардитовые и галитовых озер первоначально были выделены только в районе Северного

Приаралья, проверка и сопоставление соляных озер других районов с различными источниками питания показали, что и они также укладываются в группы, выделенные для Северного Приаралья. Было обследовано и проверено по данным других исследователей большое количество «сухих» озер в Восточном и Южном Приаралье, в Восточном и Северном Прикаспии, в низовьях р. Чу и других районах. Почти все озера принадлежат к одной из выделенных в Северном Приаралье групп.

Более дробное разделение озер сульфатного типа охватывает главным образом «сухие» и подпесочные озера. Возможно, что и рапные озера после соответствующей проверки удастся разделить на аналогичные группы.

Глава III РЕЖИМ СОЛЯНЫХ ОЗЕР

Соляные озера представляют собой водоемы, в которых приток воды сбалансирован с ее расходом таким образом, что основная часть поступающих в озеро вод расходуется на испарение. Нарушение этого равновесия может вызвать высыхание озера или его опреснение. Таковы пересыхающие озера, которые правильнее относить к сорам и солончакам, или часто опресняющиеся озера, расположенные на границе аридной зоны. Однако и в типичных соляных озерах равновесие между притоком воды и ее расходом постоянно изменяется, нарушается и вновь восстанавливается. Это изменение происходит по-разному в разные периоды года, неодинаково в различных озерах. Связано оно с воздействием на озера метеорологических факторов и изменением условий питания озера за счет поверхностных и подземных вод. Эти факторы воздействуют не только на уровень стояния рапы, но и на состав солей, их концентрацию, выпадение или растворение. Изменения состояния соляного озера во времени, обычно имеющие периодический характер и повторяющиеся с теми или иными вариациями в течение каждого года и в многолетнем периоде, называются его режимом.

Различают гидрологический режим, включающий изменение уровней, температуры, плотности испарения рапы, появление на ней ледового покрова, и гидрохимический режим, включающий изменение концентрации, состава солей в рапе, выпадение из нее и растворение ею солей, взаимодействие жидкой и твердой фаз в озере. В режим соляного озера входят и изменения его связи с внешней средой, в частности условий его питания. Иногда выделяют уровенный, термический режим и т. п. Термический и гидрохимический режимы включают изменения, происходящие не только в жидкой, но и в твердой фазе озера.

Процессы, протекающие в соляных озерах, обычно разделяют на циклические, периодические и постоянные, или труднообратимые. К циклическим относят процессы, обусловленные изменением метео-

рологических факторов в течение гола. Периолические процессы вызываются многолетними колебаниями климатических условий, например чередованием ряда засушливых лет с рядом лет повышенного увлажнения. После годичного цикла в состоянии озера, как правило. заметных изменений не наблюдается. Процессы периодические прилают определенную направленность пиклическим 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 нередко приводит к быстрому изменению солевого состава и концентрации рапы, отложению солей. Эти процессы легкообратимы, но обычно полного повторения результатов цикла, а тем более периода не наблюдается. В состоянии соляного озера накапливаются остаточные явления, определяющие его развитие в том или ином направлении.

М. Г. Валяшко (1962) убедительно доказал, что циклические и периодические процессы не могут переводить озеро из одного гидрохимического типа в другой. Как это показано на приводимых им диаграммах равновесий гидрохимических типов озер (карбонатный, сульфатный, хлоридный), указанные процессы могут только перемещать точку состава рассола данного типа внутри характеризующей его диаграммы.

Постоянные процессы, названные Н. С. Курнаковым процессами метаморфизации рассолов, медленно, постепенно и односторонне изменяют состав рапы соляного озера. Следствием их являются образование постоянных твердых фаз, представленных малорастворимыми соединениями, и изменение состава рапы, способное перевести его из одного гидрохимического типа в другой.

Уровенный режим

Наиболее заметным проявлением циклических и периодических

процессов, протекающих в соляном озере, является изменение уровня рапы. Глубина рапы в соляных озерах редко превышает 2-4 м, а на многих озерах составляет 0,5-1 м. Озера с большей глубиной на отдельных участках включают и обширные зоны мелководий. Резкое понижение уровня рапы обычно сопровождается переходом озера в соляное с отложениями солей. Примером может служить Кара-Богаз-Гол, средняя глубина которого с 1930 по 1966 г. уменьшилась с 5-6 до 2-2,5 м.

Мощность рапы в озерах в течение года изменяется в разных районах и озерах неодинаково. Наибольшие амплитуды колебаний ее мощности характерны для рапных озер в краевых частях засушливой зоны или озер с крайне неравномерным питанием. В таких озерах они нередко достигают 0,8—1,0 м. Обычно уровень рапы повышается в осенне-зимнее время в связи с дождями и резким уменьшением испарения. Максимальное повышение его, как правило, наблюдается весной в связи с таянием снега, паводками,

повышением уровгтя подземных вод, испарения. Понижение уровня рапы начинается в апреле — мае и продолжается до сентября — октября. В разные годы в зависимости от ранней или поздней сухой или дождливой весны и осени ход его смещается, изменяется и его амплитуда. С изменением уровня рапы изменяется и ее объем в озере. Учитывая небольшую глубину озер, годовые изменения объема рапы могут быть весьма значительными. Так, в Кара-Богаз-Голе в 1929 г. за год обновлялась 1/5 часть воды залива, а в настоящее время за год испаряется почти половина объема рапы залива.

А. В. Шнитниковым (1957) в результате сопоставления за 108 лет уровней озер в Западной Сибири и Северном Казахстане и атмосферных осадков, температур воздуха и других метеорологических факторов установлено, что за этот период было несколько циклов изменения уровней воды в озерах длительностью от 20 до 45 лет, чаще 25-30 лет. Им соответствуют циклы изменения климатических факторов, а также режима грунтовых вод и поверхностного стока. Колебания уровней в циклах достигали 1 м. Наблюдалось запаздывание изменения уровней рапы в озерах на два-четыре года периодов увлажнения климата. Н. Т. Кузнецов относительно (1960), анализируя изменения уровней воды и рапы в озерах Северного Казахстана, пришел к выводу, что периодических, в строгом понимании этого слова, внутривековых колебаний уровней на озерах не наблюдается. Но на озерах этой территории чередуются обводнения и усыхания, вплоть до полного пересыхания озер в отдельные годы. В разных районах и в озерах с неодинаковыми условиями питания изменения уровней не всегда совпадают во времени; резко отличаются они и по амплитуде колебаний. В засушливые периоды площади озер иногда сокращаются в несколько раз, из одного озера образуется несколько мелких.

Рапные озера более засушливых районов, как правило, испытывают меньшие колебания уровней рапы. «Сухие» соляные озера имеют значительно меньшую амплитуду колебаний уровня, редко превышающую 0,5 м. С апреля или с мая поверхностная рапа на них исчезает, а межкристальная опускается на 3—5 см ниже поверхности пласта соли и в таком положении остается до осени. Имеются, однако, «сухие» озера, в которых весной уровень рапы не достигает поверхности пласта соли, а летом понижается на 20—30 см (тенардитовые озера) и даже на 50—60 см (мирабилитовые озера). Основной причиной сохранения стабильного летнего уровня рапы является равновесие между количеством поступающих в озеро грунтовых вод и испарением с поверхности пласта соли. Изменения уровней в многолетние периоды на «сухих» озерах обычно более сглажены, чем на рапных озерах.

Характер изменения уровней рапы на «сухих» озерах (например, в Северо-Восточном Приаралье) во многом зависит от их проточности для грунтовых вод и от изменения уровней последних вблизи озер.

Термический режим

Амплитуды колебаний температуры рапы и солей в озерах и характер изменения их в течение года и даже суток зависят от многих факторов, связанных с климатическими условиями районов, с условиями питания, особенностями строения самих озер, с составом в них рапы и отложениями солей.

Температура поверхности рапы или пластов солей в основном зависит от интенсивности солнечной радиации, а ее изменение определяется поглощением солнечной радиации и потерей тепла вследствие излучения рапой и солями. Поглощение радиации зависит от отражательной способности поверхности, или альбедо, т. е. от отношения количества отраженной лучистой энергии к количеству падающей. Альбедо водных поверхностей зависит от их гладкости и от высоты стояния Солнца, изменяясь от 3 до 45%. Альбедо песка — 29—34%, снега — от 50 до 90%. Альбедо галита, «нагара» мирабилита приближается к альбедо снега. Оно резко снижается при загрязнении поверхности пластов солей илом.

В термическом режиме соляных озер, кроме того, большую роль играют теплоемкость и теплопроводность рапы и солей, наличие или отсутствие конвекции, турбулентное перемешивание, испарение с поверхности рапы и солей, характер взаимосвязи с грунтовыми водами, процессы кристаллизации и растворения солей.

Термический режим рапных озер, имеющих небольшую глубину, вследствие перемешивания и конвекции для всего слоя рапы почти одинаков. Как известно, пресная вода имеет наибольшую плотность при 4° С, а температура ее замерзания равна 0°. При увеличении солености воды понижаются температура ее замерзания и температура, при которой вода имеет наибольшую плотность. При солености морской воды 2,4695% температура замерзания и температура воды с наибольшей плотностью совпадают и равны минус 1,332° С. Поэтому зимой конвекция в пресных и солоноватых озерах прекращается; они покрываются льдом, э в нижних слоях воды удерживается температура выше точки замерзания. В соляных озерах при понижении температуры рапа на поверхности становится более плотной, чем в нижележащих слоях, опускается вниз, вызывая конвекцию. В результате температура рапы выравнивается до глубины, достигаемой перемешиванием.

Вследствие более низкой теплоемкости рапы по сравнению с теплоемкостью пресной воды летом она нагревается быстрее и до более высоких температур, зимой быстрее охлаждается. Амплитуда колебаний суточных и годовых температур у рапы также больше, чем у пресной воды. Рапа замерзает при отрицательных температурах. Замерзание концентрированной рапы происходит при относительно низких температурах. Рапа, насыщенная NaCl, замерзает только при -21° . Годовая амплитуда колебаний температур рапы достигает $60-65^{\circ}$. Максимальная температура рапы чаще всего составляет +35 $+40^{\circ}$, а нередко и $+45^{\circ}$. Большое влияние на термический

режим рапных озер оказывает испарение с их поверхности, сильно охлаждающее поверхностные слои рапы в летнее время и повышающее концентрацию содержащихся в них солей. Это в свою очередь усиливает конвекцию и перемешивание рапы.

На термический режим озера влияют выпадение и растворение новосадки, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла, а иногда нарушением конвекции: при этих условиях толща рапы может расслаиваться на слои с различной плотностью, концентрацией солей и температурой. В озерах с обширными мелководьями, как правило, увеличивается интенсивность прогрева рапы летом, более значительна амплитуда колебаний температур и в течение суток.

Термический режим озера в значительной степени определяется характером связи рапы с подземными, грунтовыми, а иногда и поверхностными водами, которые способствуют ее перемешиванию или образованию на ее поверхности долго не смешивающегося с ней слоя, создающего «парниковый эффект» (Дзенс-Литовский, 1957).

Термический режим «сухих» соляных озер к настоящему времени еще мало изучен. Что касается поверхностной рапы, то характер изменения ее температур в общем виде сходен с термическим режимом рапы на мелководьях рапных озер.

Наиболее интересны изменения температуры донной, межкристальной и иловой рап, поскольку значительная часть периодических минералов образуется и существует в определенных интервалах температур. Так, в оз. Развал, по данным А. И. Дзенс-Литовского (1966), с глубины 3—4 м круглый год сохраняется отрицательная температура рапы, а на глубине 8—12 м залегает слой гидрогалита, который может существовать только при температурах ниже 0°.

Длительные систематические наблюдения за межкристальной рапой проводились на оз. Индер в 1939—1941 гг. М.Г. Валяшко и Я.И. Тычино (1952). Ими изучался термический режим солевой залежи озера, представленной галитом мощностью до 50 м. Поверхностная рапа на озере появлялась осенью и исчезала весной. Наблюдения показали, что температура рапы резко понижается с глубиной. Наибольшее снижение отмечалось в двухметровом слое от поверхности; разность температур в июле 1941 г. достигла 13,4°. В десятиметровом слое от поверхности отрицательная температура наблюдалась до июня, а положительная — во втором полугодии. Годовой максимум температуры на этой глубине запаздывал по сравнению с максимумом на поверхности на 3-4 месяца. На глубине 20 м среднегодовая температура рапы отрицательная (-0.6°). На глубине 30 м отрицательная температура удерживалась в течение всего года, изменяясь от -0.5 до -1.8° C, составляя в среднем -1.4° . Амплитуды колебаний среднемесячных температур составляли на поверхности 27,9°, на глубине 2 м - 21,8°; 4 м - 12,0°; 6 м - 9,8°; 8 м - 6.6° ; 10 m - 4.8° ; 20 m - 4.8° ; 20 m - 4.2° ; 30 m - 1.3° . Osepo Индер расположено в компенсационной впадине солянокупольного 24

поднятия и по условиям питания имеет некоторое сходство с рапным оз. Развал.

Термический режим верхнего пласта соли «сухого» оз. Эльтон изучался в 1948—1950 гг. Г. А. Васильевым (1953). Солевая залежь озера — загрязненный илом галит с прослоями ила и с небольшими линзами эпсомита. В озеро впадают речки. Наблюдения показали существенные отличия термического режима солевой залежи озер Эльтон и Индер. Резкого понижения температур на Эльтоне с глубиной не наблюдалось. В поверхностном (до 2 м) слое разность среднегодовых температур составляет всего 1,4°, а ниже она практически почти не понижается. Максимальная среднемесячная температура на Эльтоне составляет на поверхности 26,6°, на глубине 2 м — 21,4°, 6 м — 13,6°, 12 м — 11,6°; соответственно на Индере — 25,0; 22,4; 9,3 и 3,0°. Донная рапа Эльтона с глубины 4,5 м имеет положительную температуру в течение всего года.

Наблюдения за температурой межкристальных рассолов в Кара-Богаз-Голе в 1953—1954 гг. показали, что температура во втором рассольном горизонте на глубине 5—8 м колеблется от 15 до 17°, в третьем горизонте на глубине 18—19 м — от 16 до 17°. Таким образом, температуры разных слоев Кара-Богаз-Гола отличаются от температур Индера и Эльтона.

При изучении соляных озер Джаксы-Клычского месторождения еще в 1947 г. было замечено, что температура межкристальной рапы в пластах солей разного минералогического состава изменяется неодинаково. В этой связи в 1955—1957 гг. на озерах месторождения были организованы наблюдения за их термическим режимом. Они проводились на озерах: галитовом Восточном, мирабилитовом 69, тенардито-мирабилитовом 125. Для сравнения были поставлены наблюдения в песчаном грунте на перемычке между соляными озерами и на соровой полосе оз. Восточного. К сожалению, в наблюдениях имели место перерывы, что снижает ценность результатов. Тем не менее полученные данные представляют интерес, поскольку в подобном комплексе наблюдения проводились впервые.

На оз. Восточном залегает пласт галита, под ним пласт астраханита и, наконец, пласт мирабилита, подстилаемый илом. На наблюдательной площадке мощность пласта галита 1,20 м, астраханита 0,95—1,20 м, мирабилита 2,45—2,50 м, слоя ила 0,3—0,5 м. В холодное время года на озере появляется поверхностная рапа, летом уровень межкристальной рапы опускается ниже поверхности галита на 3—4 см. Верхний слой галита представлен старосадкой мощностью 0,15—0,20 м, ниже лежит гранатка. На площадке были установлены термометр для измерения температуры поверхности пласта галита, термометры почвенные на глубину 9,5; 16,5; 24,5 и 31,5 см, вытяжные термометры на глубины: 1 м (нижняя часть пласта галита), 2,05 м (нижняя часть пласта астраханита), 3,10 м (в пласте мирабилита), 5,10 м (в слое ила). Рядом с площадкой, в шурфе, углубленном в слой галита на 0,5 м, были установлены плавающий термометр (на поверхности рапы) и термометры на стержнях на

	Период максимума, 1956 г.						
Глубина от поверхности солевой ралежи, см	-	Максимальная	I				
, ,	срочная	среднесуточ-` ная	срелнемесяч- ная	Средняя за период			
Галит; 0,0	42,0 33,1 32,0 31,3 29,8 24,0 16,8 13,7 10,3	32,7 30,4 29,9 29,2 28,5 24,0 16,8 13,6 10,3	28,2 27,8 27,5 26,6 26,4 23,2 16,4 13,4 10,1	26,0 25,0 24,5 24,0 23,5 21,5 15,5 12,5 9,8			

* Температура поверхности рапы, покрывающей пласт галита зимой.
** Амплитуда колебаний температур с учетом температуры поверхностной рапы, по

Температуры пласта

		Период максимума						
Глубина, см		Максимальная						
-	срочная	среднесуточ- ная	среднемесяч- нач	Средняч за пер и од				
Поверхности нагара +6 Поверхности мирабилита; 0.0	48,6 41,5	32,8 30,3	27,3 25,2	24,5 23,0				
Поверхности мирабилита; 9.5	25,8	22,9	20,8	20,0				
Поверхности мирабилита; 16.5	21,7	20,6	19,7	19,0				
Поверхности мирабилита; 24.5	19,0	19,0	18,6	18,0				
Поверхности мирабилита; 31.5	18,0	18,0	17,8	17,0				
Рапы в турфе (0,5 м)	28,4	23,6	20,9	20,0				

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о значительной разнице в нагреве колебаний от поверхности до глубины 9,5 см, плавном уменьшении максимальных и уве проводности пласта мирабилита).

	Период мини	мума, 1957 г.		A	мплитуда коле	баний .
	Минимальна	я				_
срочная	оочная среднесуточ- среднемесяч-		Средняя за период	срочных	среднесуточ- ных	среднемесяч- ных
-24,9 *	-22,5 *	-11,1 *4,9 +1,7 +4,5 +7,4	-7,5 *3,5 +2,5 +5,2 +7,7	66,9 ** 30,7 15,2 9,4 3,0	55,2 ** 30,7 15,2 9,3 3,0	39,3 ** 28,1 14,7 8,9 2,7

крывающей пласт галита зимой.

мирабилита на оз. 69

Таблица 2

	-Период в	иинимума '	Амплитуда колебалий			
	М ини м альна	rs.		7		•
срочная	среднесуточ- ная	средне м еся ч - ная	Средняя ва период	срочных	среднесуточ- ных	среднемесяч- ных
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	-22,6 -19,6	2,6 —12,6 9,6 —11,2		78, 0 63,5	55,4 49,9	39,9 36,4
-13,9	-13,4	8,7	8,0	39,7	36,3	29,5
-12,8	-12,3	-8,0	-7,5	34,5	32,9	27,7
-9,1	—8,8 —5,7		5,0	28,1	27,8	24,3
-7,0	—7 ,0 —4,9		-3,5	25,0	25,0	22,7

поверхностей нагара и мирабилита, скачке температур и резком уменьшении амплитуды личении минимальных температур на глубинах (что является показателем чизкой тепло-

	Период максимума						
Состояние грунта; глубина от поверхности, см		Максимальная					
	срочная	среднесуточ- ная	среднемесяч- ная	Средняя за период			
Сухой; 0,0 » 9,5 » 16,5 » 24,5 » 31,5 » 110 Влажный; 210 » 310 Обводненный; 500	55,0 33,2 29,5 27,5 24,5 20,7 16,6 14,1 12,7	35,1 28,1 25,5 24,3 23,1 20,7 16,6 14,0 12,7	30,0 25,7 24,1 23,2 22,3 20,3 16,1 13,8 12,4	28,0 24,0 22,5 21,5 21,0 19,0 15,0 13,0 11,5			

глубинах 9,5; 16,5; 24,5 и 31,5 см. На соровой полосе, возвышающейся над солевой залежью на 0,2-0,3 м, были установлены почвенные термометры на те же глубины.

Для сопоставления термического режима солевых залежей с условиями прогрева грунтов на глубину, на перемычке между озерами Восточным и Северным бассейном, сложенной тонкозернистыми лесками с прослоями глинистых песков, большую часть года сухих до глубины 4 м, были установлены поверхностный термометр, почвенные термометры на глубинах 9,5; 16,5; 24,5 и 31,5 см и вытяжные термометры на глубинах 1,10; 2,10; 3,10 и 5,0 м.

На оз. 69 залегает пласт мирабилита мощностью $0,5-0,7\,$ м, покрытый слоем «нагара» мирабилита мощностью $0,10-0,12\,$ м; ниже лежит слой ила, а под ним песок. В холодное время года уровень рапы поднимается, не достигая $0,2-0,3\,$ м поверхности пласта мирабилита, летом он опускается на $0,5-0,7\,$ м ниже его поверхности. Здесь были установлены поверхностные термометры на поверхности «нагара», мирабилита и почвенные термометры на глубинах $9,5;\ 16,5;\ 24,5\,$ и $31,5\,$ см от поверхности последнего.

На площадке оз. 125 были установлены поверхностный и почвенные термометры на тех же глубинах и вытяжные термометры на глубинах $1,1\,$ м (в пласте мирабилита), $1,5\,$ м (в линзе астраханита), $1,8\,$ м (в слое ила). На наблюдательной площадке сверху лежит корочка галита (толщиной до $1-2\,$ см), ниже — слой кашеобразного глауберита с илом ($6-8\,$ см), под ним пласт тенардита ($0,4\,$ м), ниже пласт мирабилита ($0,9\,$ м), под ним линза астраханита ($0,3\,$ м) и слой ила ($0,2\,$ м), переходящий ниже в илистый песок.

Наблюдения проводились: на оз. Восточном с сентября по декабрь 1955 г. и с апреля 1956 г. по сентябрь 1957 г.; на оз. 69, на соровой

	Период м	инимума	Амплитула колебаний			
	М ини м альна	я	средняя		среднесуточ-	среднемесяч-
срочная среднесуточ- среднемесяч-		за пер и од	срочных	ных	ных	
$\begin{array}{c} -31,2 \\ -18,6 \\ -16,5 \\ -13,0 \\ -9,3 \\ -4,6 \\ +2,2 \\ +4,4 \\ +8,0 \end{array}$	$\begin{array}{c} -26,1 \\ -17,3 \\ -14,8 \\ -11,8 \\ -9,2 \\ -4,5 \\ +2,2 \\ +4,4 \\ +8,0 \end{array}$	$\begin{array}{c} -14.4 \\ -12.0 \\ -10.5 \\ -8.3 \\ -6.8 \\ -4.0 \\ +2.7 \\ +4.7 \\ +8.1 \end{array}$	$\begin{array}{c} -13.0 \\ -10.0 \\ -9.0 \\ -7.5 \\ -6.0 \\ -3.0 \\ +3.5 \\ +5.0 \\ +8.5 \end{array}$	86,2 51,8 46,0 40,5 33,8 25,3 14,4 9,7 4,7	61,2 45,4 40,3 36,1 32,3 25,2 14,4 9,6 4,7	44,4 37,7 34,6 31,5 29,1 24,3 13,4 9,1 4,3

полосе и на песчаном грунте — с мая 1956 г. до 1957 г.; на оз. 125 с августа 1956 г. по сентябрь 1957. В период подъема поверхностной рапы (с декабря по апрель) наблюдения на оз. Восточном за поверхностным и почвенными термометрами прекращались, за вытяжными продолжались. На оз. 125 вследствие его удаленности ежедневные наблюдения проводились только 2 месяца; остальное время они проводились один раз в 4—5 дней. Замеры температур, кроме замеров на оз. 125, производились в 1 час, 7 часов, 13 часов п 19 часов по московскому времени. С ноября 1956 г. замеры температур на вытяжных термометрах на глубинах 2,1; 3,1; 5,0; 5,1 м ввиду незначительных их колебаний производились один раз в сутки.

Представление о термическом режиме дают: по солевой залежи оз. Восточного — табл. 1 и рис. 3; по оз. 69 — табл. 2 и рис. 4; по песчаному грунту — табл. 3 и рис. 5.

Пласт галита на оз. Восточном по сравнению с песчаным грунтом нагревается слабее. Максимальная срочная температура его поверхности на 13° ниже срочной температуры песка, максимальная среднемесячная — на 1,8°, а средняя за период максимума — на 2°. Теплопроводность же его значительно выше. На это указывает то обстоятельство, что понижение максимальной срочной температуры в пластегалита от поверхности до 1 м на 18,3° меньше, чем уменьшение ее в слое песка: среднесуточной — на 5,7°, среднемесячной — на 4,7° (см. табл. 1,3). Температура поверхности рапы в шурфе еще ниже температуры галита, а поверхность соровой полосы, сложенной серым пропитанным рапой илом, нагревается значительно выше не только галита, но и песка. Теплопроводность же ила выше теплопроводности песка, но ниже теплопроводности галита. Данные о режиме открытой рапы и соровой полосы приведены в табл. 4 и 5.

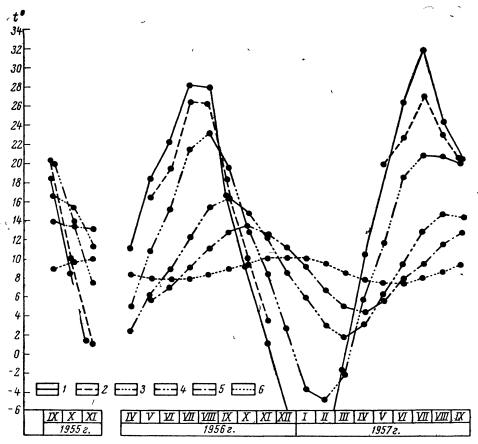
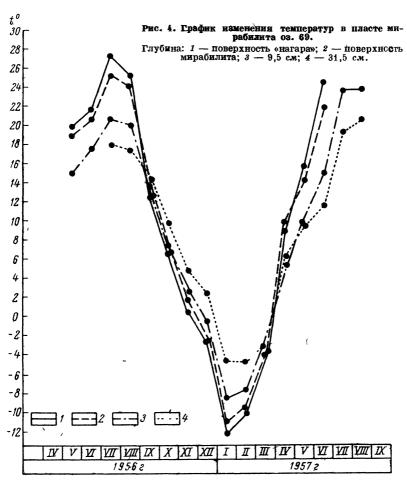


Рис. 3. График изменения температур в солевой залежи оз. Восточного Глубина: I — поверхность; 2 — 31,5 см; 3 — 1,0 м; 4 — 2,05 м; 5 — 3,1 м; 6 — 5,1 м.

Температура ила на соро

	`Период максимума (1956 г.)						
Глубина от поверхнусти ила, см		Средняя					
	срочная	среднесуточная	среднемесячная	за период			
0,0 9,5 16,5 24,5 31,5	57,5 39,8 39,5 33,8 32,8	37,2 34,7 32,9 32,6 30 8	33,5 32,5 31,1 30,6 29,0	31,0 29,5 28,5 28,0 27,0			



вой полосе оз. Восточного

Таблица 4

	Период мини	мума (1957 г.)	Амплитуда колебаний				
	Миним альна	я	Средн яя		среднесуточ-	среднемесяч	
		среднемесяч- ная	за период	срочных	ных	нык	
-27,5 -17,8 -16,5 -14,9 -13,0	-23,5 -16 7 -15,6 -14,3 -12,7	-13,6 -12,1 -11,5 -10,2 -10,0	-11,0 -10,5 -10,0 -9,5 -9,0	85,0 57,6 52,0 48,7 45,8	60,7 51,4 48,5 46,9 43,5	47,1 44,6 42,6 40,8 39,0	

Повышенная теплопроводность пласта галита, выявленная на оз. Восточном, подтвердила и детализировала результаты наблюдений на оз. Эльтон (Васильев, 1953). Общий ход температур в тече-

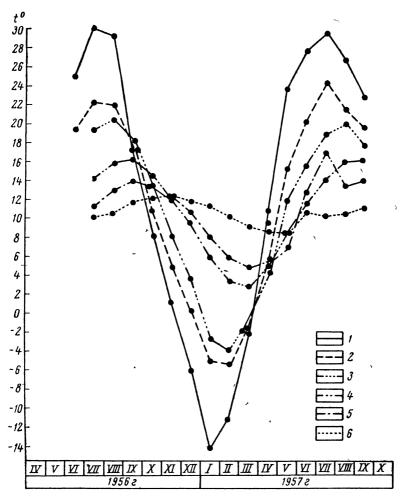


Рис. 5. График изменения температур в песчаном грунте. Глубяна: 1 — поверхность; 2 — 3.5, 5 см; 3 — 1.1 м; 4 — 2.1 м; 5 — 3.1 м: 6 — 5.0 м.

ние года и с увеличением глубины, а также амплитуды их колебаний оказались близкими. Сопоставление температур в пласте галита оз. Эльтон и песчаном грунте близ оз. Восточного убедительно свидетельствует о значительно более высокой теплопроводности галита. Наблюдения на оз. Индер также показали высокую теплопроводность галита и ход температур до 2—4 м от поверхности, близкие

по максимумам, минимумам и амплитуде колебаний ходу температуры на озерах Эльтон и Восточном._____

				Таблица
Температура	рапы в	шурфе	на оз	. Восточном

5

M a	Средняя		
срочная	среднесуточ- ная	среднемесяч- ная	ва период максимума
1	i i		
35,2	29,0	25,7	23,5
33,4	28,5	25,4	23,6
32,1	28,4	25,4	23,6
32,0	28,4	25,3	, 23,5
28,5	25,9	24,5	23,0
	срочная 35,2 33,4 32,1 32,0	срочная среднесуточная 35,2 29,0 33,4 28,5 32,1 28,4 32,0 28,4	35,2 29,0 25,7 33,4 28,5 25,4 32,1 28,4 25,4 32,0 28,4 25,3

^{*} Наблюдения на этой глубине проводились с 25/VII, т. е. во второй половине максимума 1956 г.

По результатам наблюдений в Приаралье сроки максимума температур песчаного грунта запаздывают больше чем на полфазы до глубины всего 5 м. Наблюдения на Индере и Эльтоне свидетельствуют о том, что запаздывание сроков максимума на глубине в пласте галита меньше запаздывания в песчаном грунте, что может быть связано с лучшей теплопроводностью галита. На оз. Восточном в пласте галита на глубине 1 м по сравнению с поверхностью срок максимума запаздывает на полмесяца. Запаздывание сроков максимума на глубину вследствие опускания вниз насыщенных рассолов (Валяшко, 1952) может иметь только подчиненное значение, так как оно наблюдается и в песчаном грунте. Запаздывают на глубину и сроки минимума температур.

Изменения температур в пласте астраханита под пластом галита на глубине 2,05 м отличаются от их изменений в пласте галита. В пласте астраханита температуры очень близки к температурам песчаного грунта на той же глубине, близки и амплитуды их колебаний. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что между пластом галита и пластом астраханита имеется четко выраженный скачок температур в сторону более резкого понижения их в период максимума, более резкого уменьшения амплитуд колебаний и повышения их в период минимума, по сравнению с изменениями их от 1,0 до 2,1 м в песчаном грунте. На Эльтоне на глубине 2 м в пласте галита максимальная среднемесячная температура на 5° выше, минимальная среднемесячная температура на 2,5° ниже, амплитула колебаний на 7.5° больше соответственных чений в пласте астраханита Восточного. Примерно то же наблюдалось и на Индере. Это дает основание утверждать, что теплопроводность пласта астраханита ниже теплопроводности пласта галита и близка к таковой песчаного грунта. Запаздывание сроков максимума и минимума в пласте астраханита такое же, как и в песчаном грунте. Следствием различий теплопроводности галита и астраханита является значительный нагрев верхних слоев астраханита и существенное уменьшение нагрева его нижних слоев и поверхности залегающего под ним пласта мирабилита. В то же время наблюдения на оз. 69 показывали, что теплопроводность астраханита значительно выше теплопроводности мирабилита, в котором даже на

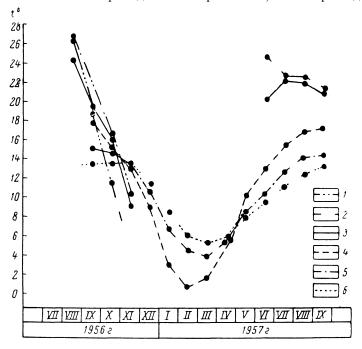


Рис. 6. График изменения температур в солевой залежи оз. 125. Глубина: 1 — поверхность; 2 — 9,5 см; 3 — 31,5 см; 4 — 1,1 м; 5 — 1,5 м; 6 — 1,8 м.

глубине 31,5 см средняя за период максимума температура всего на $1,5^{\circ}$ выше температуры в пласте астраханита на глубине 2,10 м.

В пласте мирабилита в оз. Восточном на глубине 3,1 м наблюдается дальнейшее понижение температур в период максимума и повышение в период минимума, уменьшение амплитуды их колебаний и сближение среднесуточных и среднемесячных температур. Период максимума на этой глубине наблюдается в сентябре — ноябре, а период минимума в марте — мае. По сравнению с песчаным грунтом пласт мирабилита обладает меньшей теплопроводностью. При углублении в пласт мирабилита на глубину менее 1 ж понижение температур в период максимума обгоняет их понижение в песчаном грунте на этой же глубине. Максимальная среднемесячная темпера-

тура в пласте мирабилита на глубине 3,1 м Восточного на 4,8° ниже, чем в пласте галита в Эльтоне на глубине 3,0 м, а соответствующая минимальная на 3,6° выше. На поверхности пласта мирабилита в Восточном средняя расчетная температура периода максимума не превышает 15°, а максимальная среднемесячная 16°. В слое ила Восточного на глубине 5,1 м в период максимума температура значительно ниже, в период минимума немного ниже, амплитуды колебаний меньше, чем в песчаном грунте на глубине 5 м. Это указывает на весьма низкую теплопроводность мирабилита и, возможно, на растворение мирабилита в нижних слоях пласта поступающими в озеро подземными водами.

В оз. 125 уровень рапы на наблюдательной площадке в зимневесеннее время поднимался на 0,1—0,2 м, а летом опускался на 0,1—0,2 м ниже поверхности солевой залежи. Поэтому с декабря до мая за показаниями поверхностных и почвенных термометров наблюдения не проводились. Наблюдения до глубины 31,5 см характеризуют конец периода максимума температур и их осеннего понижения (август — октябрь). График среднемесячных температур в солевой залежи оз. 125 показан на рис. 6. Максимальные температуры этого периода приведены в табл. 6.

Температура на оз. 125 за август-октябрь 1956 г.

Глубина, см			Срочная	Среднесуточ- ная	Среднемеся ч- ная	Колебания среднесуточ- ные
Корки галита; Поверхности т Пласта » »		9,5 16,5 24,5 31,5	41,7 30,2 27,5 26,7 26,5	28,4 27,2 26,4 25,7 25,0	26,7 26,3 25,6 25,1 24,4	$\begin{bmatrix} 5-8 \\ 1-2 \\ 1-2 \\ 0,5-1,5 \\ 1-2 \end{bmatrix}$

Приведенные в табл. 6 данные указывают на высокую теплопроводность и относительно большую теплоемкость пласта тенардита.

Температура пласта тенардита оз. 125, пласта мирабилита оз. 69 и пласта галита оз. Восточного по результатам наблюдений приведены в табл. 7.

Приведенные в табл. 7 данные показывают, что теплопроводность пласта тенардита значительно выше теплопроводности пласта мирабилита, но несколько ниже пласта галита и что прогрев пласта тенардита на глубину до 31,5 см значительно превышает прогрев на ту же глубину пласта мирабилита, но немного ниже прогрева пласта галита.

Наблюдения на оз. 125 за температурой на глубинах 1,1 м (пласт мирабилита), 1,5 м (линза астраханита) и 1,8 м (слой ила) соответственно показали значения: максимальной срочной 18,3; 15,4 и

Таблица 7

Среднемесячная температура пластов тенардита (Т), мирабилита (М) и галита (Г) за август—октябрь 1956 г.

Глуби на,	Август			Сентябр ь			Октябрь		
СМ	т	М	Г	т	М	Г	т	M	Г
0,0 9,2 16,5 24,5 31,5	26,7 26,3 25,6 25,1 24,4	24,0 20,0 19,3 18,1 17,4	27,9 27,0 27,0 26,6 26,2	16,7 18,7 ? 19,2 19,5	12,7 13,6 14,3 14,2 14,3	16,5 17,6 17,9 17,9 18,3	10,4 9,2 12,5 12,7 15,9	6,7 7,4 8,5 8,4 9,6	9,2 9,8 9,9 9,9 —

14,2°; максимальной среднемесячной 17,9; 15,2; 13,6°, средней максимума 17-18; 14,5-15; 13,4-13,8°.

На глубине 1,1 м период минимума температур наблюдался в январе-марте. В феврале единственный замер показал $+0,5^{\circ}$, в январе и марте минимальные срочные составили +1,7 и $+1,0^{\circ}$, среднемесячные +2,9 и $+1,6^{\circ}$. Можно предполагать, что в феврале среднемесячная температура была не ниже $+0,5^{\circ}$, а минимальные срочные не ниже $-0,5^{\circ}$. Амплитуда колебаний среднемесячных температур составляла примерно $17,4^{\circ}$; срочных 19° .

На глубине 1,5 м период максимума продолжался до начала ноября. Ход изменения температур на этой глубине характеризовался большой плавностью и незначительными колебаниями их среднесуточных значений. В период минимума (с февраля до начала апреля) значения температур составили: минимальной срочной +3,6°; минимальной среднемесячной +3,8° (март); среднемесячной января +6,7°; апреля +5,4°; в результате единственного замера в феврале +3,8°. Амплитуда колебаний среднемесячных температур составила 11,4°, срочных 11,8°.

В слое ила на глубине 1,8 м период максимума продолжался с сентября до середины ноября. Температуры изменялись очень плавно, много дней характеризовалось одинаковыми температурами. Период минимума наблюдался в феврале-апреле. Значения температур составили: от +5,3 до +5,8; минимальное срочное +5,1, минимальное среднемесячное +5,5; амплитуда колебаний среднемесячных 8,1; срочных 9,1.

В период максимума значения температур снизились: от поверхности до глубины 1,8 м максимальное среднесуточное на $14,4^\circ$; максимальное среднемесячное на $13,1^\circ$; понижение соответствующих значений в слоях составило: 0,0-9,5 см. -1,2 и $0,4^\circ$; 9,5-31,5 см (тенардит) -2,2 и $1,9^\circ$; 31,5 см -1,1 м (в основном мирабилит) -6,8 и $6,5^\circ$; 0,0-1,10 м -10,2 и $8,8^\circ$; 1,1-1,5 м -2,8 и $2,7^\circ$; 1,5-1,8 м -1,4 и $1,6^\circ$. В период минимума минимальные срочная и среднемесячная температуры в слоях повысились на: 1,1-1,5 м -

4,0 и 3,3°; 1,5-1,8 м - 1,5 и 1,7°, а всего с 1,1 до 1,8 м - на 5.5 и 5°.

В ходе изменений температур в интервале от поверхности до глубины 1,8 м наблюдаются некоторые особенности, связанные с различной теплопроводностью слоев разного минералогического состава. Так, в слое 0,0-9,5 см резко уменьшаются колебания срочных температур в течение суток, что свидетельствует о большой теплоемкости этого слоя. В то же время до глубины 31,5 см порода обладает хорошей теплопроводностью. Ниже, в пласте мирабилита, колебания температур быстро затухают и на глубине от 1,1 до 1,8 м изменяются очень мало.

Сопоставление температур на глубине 1,1 м в пласте мирабилита оз. 125 и в песчаном грунте, а также на границе пластов галита и астраханита оз. Восточного показывает, что в пласте мирабилита максимальные температуры на 5-6° ниже максимальных температур на нижней границе пласта галита оз. Восточного и на 2,4-2,5° ниже тех же значений в песчаном грунте. Характерно, что они почти равны максимальным температурам в пласте мирабилита оз. 69 на глубине 31,5 см. Минимальные температуры в пласте мирабилита на глубине 1,1 м в оз. 125 близки к нулю. Они на 5,5-6,3° выше минимальных температур на оз. Восточном; на 4,5-4,0° выше тех же значений в песчаном грунте и почти на столько же выше, чем на оз. 69. Амплитуда колебаний температур здесь на 11,3-10,7° меньше, чем на оз. Восточном, и на 7,5-5,9° меньше, чем в песчаном грунте.

Прогрев солевой залежи оз. 125 на глубине 1,5 и 1,8 м гораздо меньше прогрева соответствующих по глубине слоев оз. Восточного и песчаного грунта. Максимальная температура на глубине 1,8 м оз. 125 почти равна температуре песчаного грунта на глубине 3,1 м. В период минимума охлаждение пластов оз. 125 значительно меньше охлаждения на оз. Восточном и в песчаном грунте. На глубине 1,5 м минимальная температура астраханита оз. 125, над которым лежит пласт мирабилита, на 2° выше температуры астраханита на глубине 2,1 м оз. Восточного и на 1° выше того же значения песчаного грунта на этой же глубине. В слое ила на глубине 1,8 м минимальная температура на 1° выше минимальной температуры на оз. Восточном и в песчаном грунте на глубине 3,1 м.

Сопоставление результатов наблюдений за температурным режимом на соляных озерах и в песчаном грунте позволяет установить его зависимость от минералогического состава солевых залежей и его различия на галитовых, мирабилитовых и тенардитовых озерах.

Гидрохимический режим

На рапных озерах без донных отложений солей гидрохимический режим определяется изменениями состава, минерализации и плотности рапы. В озерах с отложениями солей он зависит также от взаимодействия их жидкой и твердой фаз. В «сухих» озерах роль изменений

поверхностной рапы в режиме становится подчиненной, а на первое место выступают изменения состава, минерализации и плотности межкристальной рапы, находящейся в тесном контакте с отложениями солей.

В рапных озерах происходит и увеличение концентрации рапы в результате испарения, и ее уменьшение вследствие разбавления рапы. Если из рапы не выпадает какая-либо соль, соотношение солей в рапе может не изменяться. Это наблюдается относительно редко ввиду присутствия в рапе озер CaSO4, Na,SO4 и MgSO4, что даже при невысокой минерализации рапы приводит к выпадению из нее в зимнее время новосадки мирабилита, растворяющейся весной. В годичном цикле это приводит к резкому изменению соотношения в рапе солей зимой и летом. В рапных озерах гидрохимический режим чаще всего характеризуется увеличением содержания в рапе всех солей, а следовательно, общей ее минерализации и плотности от весны к осени. Осенью и зимой происходит обратное явление - уменьшение содержания в ней солей, ее минерализации и плотности, особенно усиливающееся ранней весной за счет талых вод. Эта общая схема гидрохимического режима озера в годичном цикле, как правило, имеет различные отклонения, делающие ее почти неповторимой в деталях в следующем цикле.

Вследствие различий в составе рапы в озерах и составе солей, питающих их источников, а также неодинакового количества воды, поступающей в них в разные периоды года, содержание в рапе ионов Na˙, Mg˙, Ca˙, Cl˙, Sq˙, HCO $_3$ ˙ в течение года может изменяться по-разному. На диаграммах равновесий солевых систем (Пельш, 1949) фигуративная точка состава рапы такого озера в годичном цикле перемещается очень мало, оставаясь на одном месте или описывая замкнутую фигуру небольшого радиуса. В многолетнем периоде эти озера могут сильно опресняться или становиться самосалочными.

Гидрохимический режим озер, в которых систематически выпадает и растворяется новосадка, характеризуется более сложным ходом изменений концентрации и соотношения в рапе ионов и солей. Так, выпадение зимой мирабилита приводит к почти полной потере рапой сульфат-иона, резкому повышению относительного содержания ионов Cl' и Mg.. В теплое время происходят изменения обратного порядка. Ha диаграмме системы Na,SO, + MgCl, <=> 2NaCl + MgSO, (Пельш, 1949) фигуративная точка состава рапы такого озера в годичном цикле описывает сложную фигуру значительного радиуса. При достаточно высоком содержании в рапе ионов Cl' и Na в конце лета из нее выпадает новосадка галита, что вызывает уменьшение ее минерализации и повышение в ней относительного содержания ионов SO,'' и Mg. Выпадение новосадки нередко происходит в короткие сроки. Поэтому оно сопровождается скачкообразными колебаниями концентрации солей в рапе; в холодное время оно усиливает разбавление рапы, а растворение летней новосадки частично компенсирует разбавление.

В самосадочных озерах в засушливые периоды новосадка нередко не растворяется полностью, и в них из года в год накапливаются отложения солей. Иногда за садкой одной соли, образующей устойчивую старосадку, начинается выпадение другой, образующей второй слой или переслаивание с осаждающей первой солью.

В рапных озерах с более постоянными отложениями солей гидрохимический режим поверхностной рапы в общих чертах аналогичен режиму уже описанных озер. Отличается он меньшей зависимостью концентрации рапы от степени разбавления ее питающими озера водами, поскольку при уменьшении концентрации разбавляющейся рапы происходит растворение верхних слоев солей до насыщения ими последней. В таких озерах летом увеличиваются продолжительность и величина садки солей, что компенсирует уменьшение мощности солей в период их растворения. Амплитуда колебаний концентрации солей в рапе за год, как правило, меньше амплитуды ее колебаний в озерах без отложений солей. Наиболее мала она в озерах с пластом галита, наиболее велика — в озерах с пластом мирабилита. Характер изменения состава и концентрации солей в межкристальной рапе рапных озер пока почти не изучен.

Гидрохимический режим «сухих» озер изучался большей частью односторонне, с систематическим отбором проб поверхностной и единичным отбором проб межкристальной рапы. Наиболее обстоятельные исследования режима межкристальной рапы были проведены на озерах Индер и Эльтон.

Режим оз. Индер изучался в 1939-1942 гг. сначала М. Г. Валяшко, затем им совместно с Я. И. Тычино. На диаграмме равновесий фигуративная точка состава рапы у поверхности галита попадает в поле кристаллизации галита и в весенне-летнее время перемещается вдоль луча кристаллизации галита, а зимой возвращается в исходное положение. Годичный ее цикл характеризуется выпадением галита летом и его растворением зимой. Определялся также состав рапы на глубине 10, 20 и 30 м. Наблюдениями установлено практически одинаковое соотношение всех ионов в летнее время. Лишь в поверхностном слое наблюдалось снижение концентрации Мд" и SO,'' при некотором увеличении Cl'. Состав межкристальной рапы оставался практически постоянным. Рапа с глубины 30 м по составу соответствовала поверхностной рапе. Поэтому она рассматривается М. Г. Валяшко как сконцентрированная испарением поверхностная рапа, опустившаяся на дно. За 60 лет, прошедших со времени первого анализа ее И. Ф. Шредером, состав рапы озера практически не изменился.

Режим Эльтона изучался в 1948-1951 гг. Г. А. Васильевым. По его данным (1953), в годичном цикле из поверхностной рапы озера могут выделяться галит, эпсомит, гексагидрит, карналлит, бишофит. Две последние соли выделяются в наиболее жаркое время и не каждый год. Концентрация солей в поверхностной рапе озера изменялась по месяцам от 23,56 до 31,42% в 1932-1937 гг. и от 19,14 до 33,73% в 1948-1950 гг. Наиболее заметно изменяются

в рапе соотношения NaCl и ${\rm MgCl}_2$, в меньшей степени — ${\rm MgSO}_4$. Как указывает М. Г. Валяшко (1962), донная рапа Эльтона на всех глубинах имеет одинаковый состав, как и рапа Индера. Только она оказывается более сгущенной.

Следует отметить, что озера Индер и Эльтон вследствие их приуроченности к солянокупольным структурам нельзя отнести к типичным соляным озерам сульфатного типа. Они находятся как бы на грани между сульфатным и хлоридным типами. Это дает основания полагать, что гидрохимический режим большинства «сухих» озер может отличаться от режима межкристальной рапы таких озер, как Индер.

При обследовании «сухих» соляных озер в Приаралье в 1945—1950 гг. автором отмечались существенные изменения в составе и концентрации солей в рапе различных озер и изменения их во времени в пределах одного озера. В связи с этим в 1955—1957 гг. были организованы наблюдения за изменением состава и концентрации солей в межкристальной рапе соляных озер Джаксы-Клычского месторождения параллельно с наблюдениями за их термическим режимом.

На галитовых озерах месторождения поверхностная рапа появляется поздней осенью и исчезает весной. По наблюдениям на оз. Восточном и 19г, на Северном и Южном бассейнах Джаксы-Клыч, а также на многих других озерах зимой и весной поверхностная рапа мало изменяет свою плотность; здесь она колеблется от 1,18 до 1,21, реже уменьшается до 1,14-1,13 и еще реже до 1,10. Обычно такое уменьшение плотности связано с резким понижением температуры и выпадением из рапы мирабилита и редко гидрогалита. Вслед за этим уменьшением за несколько дней плотность рапы повышается до 1,18-1,20 за счет растворения верхнего слоя галита. Поверхностная рапа над «окнами» и в верхней их части обычно имеет более высокую плотность. В летнее время плотность рапы в окнах изменяется от 1,22-1,23 то в сторону повышения до 1,24, а изредка и до 1,27, то в сторону понижения до 1,20. Наблюдения в «окне» на Северном бассейне показали, что плотность рапы в нем изменяется с глубиной, увеличиваясь или уменьшаясь сверху вниз, что может свидетельствовать о струйном перемещении в «окне» рапы разной плотности и подземных вод, поступающих через окно

Для наблюдений за режимом рапы на оз. Восточном в 1955 г. было оборудовано 5 скважин. Одна из них, обсаженная трубой до 0,95 м, характеризовала рапу в нижних слоях пласта галита, вторая — до 1,23 м, т. е. до границы пластов галита и астраханита; третья была обсажена до 2,1 м, т. е. до нижних слоев пласта астраханита; четвертая — до 4,5 м, т. е. до нижних слоев пласта мирабилита; пятая была оборудована до 5,7 м и остановлена в слое ила. Скважины размещались в виде куста в 0,5 м одна от другой. Пробы из них отбирались один раз в месяц, плотность рапы определялась через 5 лней.

В пласте га лита на глубине 0,95 м плотность рапы изменялась в основном от 1,20 до 1,22, в зимне-весеннее время от 1,20 до 1,21, летом от 1,21 до 1,22. Концентрация солей в рапе изменялась от 314 г/л (март 1956 г.) до 340 г/л (май 1956 г.). Большую часть года она колебалась от 325 до 335 г/л, повышаясь в теплое и понижаясь в холодное время года. Содержание в рапе Mg большую часть года колебалось от 21,13 г/л (апрель 1956 и 1957 гг.) до 34,96 г/л (февраль 1957 г.). Содержание Ca колебалось от 0,02 до 0,60 г/л. Содержание SO_4 изменялось от 19,25 до 39,70 г/л, зимой не превышая O_4 изменялось от 19,25 до 39,70 г/л, зимой не превышая O_4 г/л. Содержание O_4 и лолько в декабре 1956 г. и январе 1957 г. составляло 1,42 и 1,71 г/л.

Содержание в рапе ${\rm MgSO_4}$ колебалось от 23 до 49 г/л, понижаясь в холодное и повышаясь в теплое время года. Содержание ${\rm MgCl_2}$ большую часть года изменялось от 60 до 80 г/л, только в ноябре 1955 г. оно снизилось до 51,5 г/л и в феврале 1957 г. повысилось до 116 г/л. Содержание NaCl колебалось от 173 до 189 г/л в январе и феврале до 233 и 242 г/л в апреле, преимущественно же изменялось от 205 до 225 г/л. Концентрация солей в рапе в пласте галита незначительно превышает ее в «окне».

Изменение состава рапы в пласте галита отражено на диаграмме изотерм 25 и 0° (рис. 7). На изотерме 25° все точки лежат в поле кристаллизации галита. Зимой из рапы выпадает и мирабилит.

На границе пластов галита и астраханита, на глубине 1,23 м, плотность рапы изменялась в более широких пределах: в июле ноябре 1956 г. - от 1,23 до 1,24; в мае - сентябре 1957 г. - от 1,24 до 1,25, в единичных случаях снижалась до 1,23; с декабря 1956 г. по апрель 1957 г. - от 1,20 до 1,24 с резкими колебаниями почти в каждом месяце и самыми низкими значениями в январе марте. Концентрация солей в рапе изменялась от 318 до 363 г/л с максимумами в августе - ноябре и минимумами в январе - марте, характеризуясь резкими скачками в отдельные месяцы и с преобладанием значений 340-355 г/л. Содержание Mg^{-} колебалось от 26 до 35,5 г/л и только в марте 1957 г. оно составляло 16 г/л. В 1956 г. наибольшие значения содержания Mg. наблюдались в январе марте и низкие - летом, в 1957 г. в январе - марте содержание его было пониженным, а летом более высоким. Содержание Са в основном изменялось от 0,02 до 0,35 г/л, в декабре 1956 г. он отсутствовал, а в ноябре 1955 г. составлял 0,91 г/л. Содержание SO,'' изменялось от 14 до 73 г/л с наиболее низкими значениями в январе - марте. От апреля к августу - октябрю оно повышалось, а затем понижалось. Содержание С1' колебалось от 169 до 191 г/л с наиболее низкими значениями в мае и октябре и высокими - в январе - марте. Содержание НСО3 ' колебалось от 0,63 до 1,67 г/л (преобладало 0,70-0,95) и только в марте 1957 г. понизилось до 0,38 г/л.

Содержание MgSO $_4$ изменялось от 17,5 до 91,8 г/л с минимумом в январе — марте, повышением с апреля по август и понижением с сентября по декабрь; MgCl $_2$ — от 40,7 до 102,2 г/л с повышениями

его в январе — марте и понижениями в июле — декабре; NaCl — от 183 до 250 г/л, преобладающая часть времени — от 210 до 230 г/л. Наблюдения показали, что в этих слоях концентрация солей в рапе

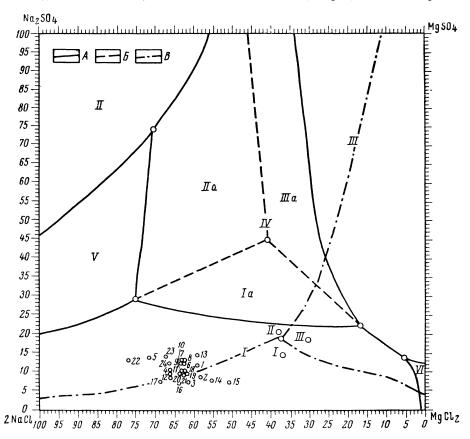


Рис. 7. Диаграмма изотерм 25 и 0°. Изменения состава рапы в пласте галита оз. Восточного (по годам и месяцам).

1'раницы: A — стабильных полей изотермы 25° ; B — метастабильных полей изотермы 25° , B — полей изотермы 0° .

Изотермы 25°: I — поле кристаллизации галита; II — поле мирабилита; III — поле эпсомита; IV — поле астраханита; V — поле тенардита: VI — поля гексагидрита и бишофита; Ia — метастабильное поле вирабилита; IIa — метастабильное поле вирабилита; IIIa — метастабильное поле эпсомита. Изотермы 0°: Io — поле галита; IIo — поле мирабилита; IIIo — поле эпсомита.

1956 r.: 2 - I, 3 - II, 4 - III, 5 - IV, 6 - V, 7 - VI, 8 - VII, 9 - VIII, 10 - IX, 11 - X, 12 - XI, 13 - XII; 1957 r.: 14 - I, 15 - II, 16 - III, 17 - IV, 18 - V, 19 - VI, 20 - VII, 21 - VIII; 1955 r.: 22 - IX, 23 - X, 24 - XI, 1 - XII.

значительно выше их концентрации в пласте галита и имеет большую амплитуду колебаний.

Изменение состава рапы на границе пластов галита и астраханита отражено на диаграмме изотерм 25 и 0° (рис. 8). Большинство точек

лежит в поле галита и лишь точки 23 и 22 попадают на границу поля астраханита и в поле тенардита; зимой выпадает мирабилит.

В пласте астраханита на глубине 2,10 м в июле — ноябре 1956 г. плотность рапы колебалась от 1,27 до 1,23, а в конце сентября — октябре и ноябре — от 1,26 до 1,23. В декабре наблюдались резкие колебания — от 1,21 до 1,23, в январе она изменялась от 1,225 до 1,200, в апреле — мае повышение от 1,23 до 1,25, с июня по сентябрь 1957 г. — 1,25—1,27. Таким образом, в пласте астраханита наблюдалось дальнейшее повышение плотности рапы летом и осенью, с резкими колебаниями и понижением зимой и весной. Концентрация солей в рапе изменялась от 311 г/л в холодное до 392 г/л в теплое время года. Содержание Mg^{-} в рапе колебалось от 21 до 43 г/л с повышением

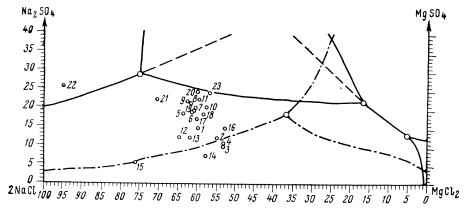


Рис. 8. Диаграмма изотерм 25 и 0°. Изменения состава рапы на границе пластов галита и астражанита в оз. Восточном (по годам и месяцам). 1956 г.: 2 — I, 3 — II, 4 — III, 5 — IV, 6 — V, 7 — VI, 8 — VII, 9 — VIII, 10 — IX, 11 — X, 12 — XI, 13 — XII; 1957 г.: 14 — I, 15 — III, 16 — IV, 17 — V, 18 — VI, 19 — VII, 20 — VIII; 1955 г.: 21 — IX, 22 — X, 23 — XI, 1 — XII.

зимой и понижением летом; Са $^{\cdot \cdot}$ — от следов до 0,19 и только в сентябре 1955 г. составляло 0,66 г/л; SO $_4$ '' — от 20 до 110 г/л с понижением зимой и повышением летом и резкими колебаниями; С1 $^{\cdot \cdot}$ — от 149 до 195 г/л с понижением от зимы к осени; НСО $_3$ ' — от 0,52 до 1,04 г/л с более низкими значениями летом.

Содержание MgSO $_4$ колебалось от 25 до 134 г/л, MgCl $_2$ — от 7,8 до 130 г/л с наиболее высокими значениями в январе и феврале, а в декабре 1955 г., в июле и августе 1956 г. он отсутствовал и его место занимал Na $_2$ SO $_4$, содержание которого соответственно составляло 9,1; 31,5 и 7,2 г/л. Содержание NaCl изменялось от 153 до 258 г/л с увеличением от зимы к лету и уменьшением от лета к зиме; Ca(HCO $_3$) $_2$ — от следов до 0,76 г/л с повышениями и понижениями почти во все периоды; Mg(HCO $_3$) $_2$ — от 0,09 до 1,22 г/л, в сентябре 1955 г. он отсутствовал, а содержание CaSO $_4$ составляло 1,6 г/л. В пласте астраханита концентрация солей в рапе имела еще большую амплитуду колебаний, что связано с более высоким содержанием

сульфатов, и большую среднюю величину, чем в верхних слоях.

Изменение состава рапы в пласте астраханита отражено на диаграмме изотерм 25 и 0° (рис. 9). В теплое время года почти все точки лежат в поле астраханита, близ границы поля тенардита, в холодное время — в поле галита. Зимой выпадает мирабилит.

В пласте мирабилита на глубине 4,5 м в июле — октябре 1956 г. и в мае — сентябре 1957 г. плотность рапы колебалась от 1,260 до 1,270. В октябре и декабре 1956 г. она снижалась до 1,230; в январе — марте и до 15 апреля 1957 г. она изменялась от 1,23 до 1,22, реже до 1,21; в конце апреля наблюдался скачок от 1,212 до 1,250. По сравнению с пластом астраханита в пласте мирабилита в летне-

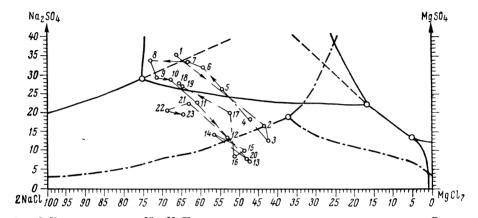


Рис. 9. Диаграмма изотерм 25 и 0°. Изменения состава рапы в пласте астраханита в оз. Восточном (по годам и месяцам).

1956 г.: 2 — I, 3 — II, 4 — III, 5 — IV, 6 — V, 7 — VI, 8 — VII, 9 — VIII, 10 — IX, 11 — X, 12 — XII; 1957 г.: 13 — I, 14 — II, 15 — III, 16 — IV, 17 — V, 18 — VII, 19 — VIII; 1955 г. 21 — IX, 22 — X, 23 — XI, 1 — XII; 1957 г.: (повторно): 20 — 1.

осеннее время плотность рапы имела большую стабильность, а в зимне-весеннее, после резкого снижения, она также колебалась в узких пределах. Концентрация солей в рапе изменялась от 318 до 390 г/л; с июня по октябрь 1956 г. она изменялась от 375 до 379 г/л, с мая по август 1957 г. — от 372 до 381 г/л. Содержание $\rm Mg^{\cdots}$ колебалось от 32 до 46 г/л, снижение наблюдалось в весенние и осенние месяцы. Содержание $\rm Ca^{\cdots}$ изменялось от 0,0 до 0,20 г/л; $\rm SO_4^{++}$ — от 22 до 124 г/л с повышением в летне-осеннее и понижением в зимне-весеннее время; $\rm Cl^{+}$ — от 141 до 191 г/л; $\rm HCO_3^{+}$ — от 0,34 до 1,75 г/л, чаще оно превышало 1 г/л.

Содержание в рапе MgSO $_4$ изменялось от 28 до 152 г/л, большей частью превышало 100 г/л; MgCl $_2$ — от 4,4 до 135 г/л; NaCl — от 125 до 232 г/л, при этом лишь изредка опускалось ниже 164 г/л; Ca(HCO $_3$) $_2$ — от 0 в январе и декабре 1956 г. до 0,81 г/л в январе 1957 г.; Mg(HCO $_3$) $_2$ — от 0 в феврале 1957 г. до 2,02 г/л в декабре 1956 г., преобладали содержания от 1 до 2 г/л; CaSO $_4$ присутствовал в феврале 1957 г. — 0,3 г/л. В пласте мирабилита средняя концент-

рация солей в рапе была выше, чем в пласте астраханита; изменения ее были более плавными, амплитуда меньше.

Изменение состава рапы в пласте мирабилита отражено на диаграмме изотерм 25 и 0° (рис. 10). Большая часть точек здесь попадает в поле астраханита; меньшая в период охлаждения пласта весной находится в поле галита.

В слое ила на глубине 5,70 м в июле — октябре 1956 г. и в мае — августе 1957 г. плотность рапы изменялась от 1,260 до 1,270. В ноябре — декабре 1956 г. наблюдались ее резкие колебания и снижение до 1,23. В январе и феврале 1957 г. она варьировала от 1,210 до 1,235, в марте и апреле вновь характеризовалась резкими колебаниями

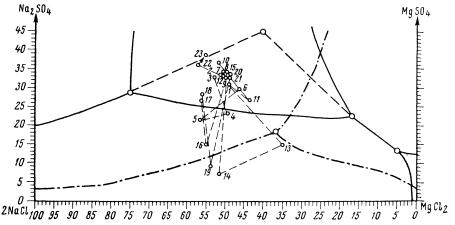


Рис. 10. Днаграмма изотерм 25 и 0°. Изменения состава рапы в пласте мирабилита в оз. Восточном (по годам и месяцам).

1956 г.: 2 — I, 3 — II, 4 — III, 5 — IV, 6 — V, 7 — VI, 8 — VII, 9 — VIII, 10 — X, 11 — XI, 12 — XII; 1957 г.: 13 — I, 14 — III, 15 — III, 16 — IV, 17 — V, 18 — VI, 19 — VII, 20 (повторно) — VII, 21 — VIII; 1955 г.: 22 — X, 27 — XI, 1 — XII.

от 1,225 до 1,260. Как и в пласте мирабилита, здесь в летне-осеннее время колебания плотности небольшие, но в зимне-весеннее они более резкие. Концентрация солей в рапе изменялась от 343 до 388 г/л с высокими значениями летом и осенью, низкими — зимой и весной с резкими скачками на 10-20 г/л. Содержание Mg $^{\circ}$ изменялось от 33 до 43 г/л; Са $^{\circ}$ — от следов до 0,17 г/л; SO $_4$ ''— от 65 до 111 г/л; CV — от 143 до 173 г/л, а большей частью от 150 до 160 г/л; HCO $_3$ ' — от 1,20 до 1,65 г/л.

Содержание в рапе ${\rm MgSO_4}$ изменялось от 80 до 139 г/л, с постепенными повышениями и понижениями его и отдельными резкими скачками; ${\rm MgCl_2}-$ от 44 до 105 г/л, в основном между 44 и 63 г/л; ${\rm NaCl}-$ от 158 до 199 г/л с повышением летом и осенью до января и резким понижением в феврале и марте; ${\rm Ca}\left({\rm HCO_3}\right)_2-$ от следов до 0,73 г/л; ${\rm Mg}\left({\rm HCO_3}\right)_2-$ от 1,11 до 1,80 г/л.

Изменение состава рапы в слое ила под пластом мирабилита отражено на диаграмме изотерм 25 и 0° (рис. 11). Почти все точки

здесь находятся в поле астраханита, лишь точка 4 попадает в поле галита и точка 21 — в поле тенардита.

Результаты наблюдений на оз. Восточном свидетельствуют о различиях в концентрации и составе солей в рапе из пласта галита, пограничного слоя между пластами галита и астраханита, пласта астраханита, пласта мирабилита и слоя ила, а также о различном характере изменений их в течение года. Наибольшие различия в составе и режиме рапы характерны для пластов галита, астраханита и мирабилита.

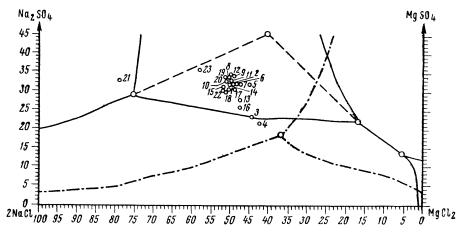


Рис. 11. Диаграмма изотерм 25 и 0°. Изменение состава рапы в слое ила (по годам и месяцам). 1956 г.: 2 — I, 3 — II, 4 — III, 5 — IV, 6 — V, 7 (повторно) — V, 8 — VI, 9 — VII, 10 — VIII, 11 — IX, 12 — X, 13 — XI, 14 — XII; 1957 г.: 15 — I, 16 — IV, 17 — V, 18 — VI, 19 — VII, 20 — VIII; 1955 г.: 21 — IX, 22 — X, 23 — XI, 1 — XII.

Гидрохимический режим оз. Восточного существенно отличается от режима таких озер, как Индер и Эльтон. Не менее разнообразен он, но более близок к режиму оз. Восточного на тенардитовых и мирабилитовых озерах.

Роль испарения в режиме озер

Накопление солей в озерах связано с испарением с поверхности воды, рапы, пластов солей, с поверхности почв и грунтов в бассейне озера. При изучении соляных озер этому вопросу до последнего времени уделялось мало внимания, а для «сухих» озер он, как правило, вообще не рассматривался. Испарению с поверхности пресной и морской воды посвящено много работ, рассматривать которые здесь не представляется возможным. Испарение с поверхности открытой рапы определялось на соляных озерах Кулундинской степи, в Прикаспии на оз. Индер, в заливе Кара-Богаз-Гол, на крымских озерах и в других районах. Результаты этих опытов показывают, что испарение рапы, близкой к насыщению солями, чаще все-

го составляет от 55 до 75% от испарения пресной воды в тех же условиях.

Существенные результаты были получены Я. И. Тычино и и М. Г. Валяшко (1952) на Индере в 1940-1942 гг. по испарению рапы различного состава. Ими было установлено, что от величины испарения пресной воды (100%) величина испарения рапы озера составляет 74,6%, насыщенного раствора NaCl-76,7%, рапы, отвечавшей началу садки сильвинита, -61%, началу садки карналлита, -46,5%, эвтонической рапы -7,8%. Эти данные свидетельствуют о том, что величина испарения в большой степени зависит от концентрации рапы и ее состава в озере.

Испарение с поверхности почв и грунтов в засушливых районах зависит от глубины зеркала грунтовых вод, гранулометрического состава и характера пористости почв и грунтов, а также от характера и плотности растительного покрова. По данным В. А. Ковды (1946), грунтовые воды расходуются в заметных количествах на испарение при глубине их зеркала до 2,5-4 м от поверхности земли. В. А. Ковда на основании исследований в Голодной степи указывает, что при глубине зеркала грунтовых вод 210-220 см расход их на транспирацию и испарение за март — ноябрь 1941 г. был равен 100-110 мм, при глубине 190-200 см — около 190 мм и при глубине 150-160 см — около 380 мм. При этом транспирация растительностью почти равна испарению. При близком к поверхности зеркале грунтовых вод, по данным В. А. Ковды, испарение с поверхности почвы превышает испарение с поверхности открытой воды на 20-40%.

По данным А. 3. Рафикова (1957), также проводившего опыты в Голодной степи в аналогичных условиях, испарение с поверхности почвы при глубине уровня грунтовых вод 20 и 50 см почти не отличалось от испарения при нулевой глубине их уровня и с открытой водной поверхности. Можно полагать, что испарение с почв и грунтов в бассейне озера по величине сопоставимо с испарением с поверхности озера. К сожалению, при изучении озер этому вопросу не уделялось должного внимания!

Испарение с поверхности пласта галита изучалось М. Г. Валяшко и Я. И. Тычино (1952) в мае — сентябре 1940 г. на оз. Индер. За период наблюдений с поверхности открытой рапы испарилось 896 мм и с поверхности соли — 5,3 мм. По мнению М. Г. Валяшко, уход рапы под соль замедляет испарение почти в 170 раз. Поэтому после перехода рапного озера в стадию «сухого» темп увеличения концентрации рапы резко замедляется, а следовательно, замедляются и общий темп развития озера и накопление в нем твердых соляных отложений. Это мнение в последние десятилетия получило широкое распространение.

Наблюдения за «сухими» озерами в Северном Приаралье не подтвердили вывода о резко замедленных темпах развития «сухих» соляных озер. На наблюдательной площадке на оз. Восточном наблюдения за испарением проводились с 15/VIII 1956 г. по 17/X 1956 г. и с 15/VI 1957 г. по 21/VIII 1957 г. Пласт галита на оз. Восточном

представлен старосадкой мощностью 0, 1-0, 2 м и пористостью 15-20% и залегающей под ней гранатной, пористость которой часто превышает 30%. Сообщение поверхностной рапы при появлении ее на озере с межкристальной рапой на отдельных участках озера, покрытых тонкокристаллической новосадкой, затруднено, но на основной его части почти свободное. Наблюдения проводились на площадке с типичным для озера характером поверхности и пористости пласта галита. Здесь были установлены 6 испарителей в виде ванночек из алюминия площадью 30х20х8см.

Ванночки помещались в выдолбленные в пласте углубления так, чтобы края их находились на уровне поверхности пласта, а уровень рапы в них соответствовал уровню рапы в озере, обычно не опускающемуся ниже 2-3 см. Из пласта галита выпиливались два монолита с ненарушенной структурой. У края монолита выдалбливалось отверстие для заливки рапы. Монолиты помещались в две ванночки, две другие заполнялись рапой из шурфа, в две оставшиеся наливалась пресная вода.

Ванночки одного ряда взвешивались в 8 ч 30 мин и в 20 ч 30 мин местного времени, второго ряда - один раз в сутки, в 8 ч 30 мин. Взвешивание производилось с точностью до 5 г. Вес испарившейся воды определялся по разности его значения между сроками наблюдений. Вода в ванночках сменялась через сутки, рапа через 2-3 суток, монолиты сменялись после нарастания на них слоя новосадки. При выпадении осадков, подъеме уровня рапы и сильном ветре наблюдения прерывались. Результаты наблюдений за испарением приведены в табл. 8.

Испарение на оз. Восточном

Таблица 8

Годы, месяцы	Среднесуточное испарение с поверхности, мм			Количе- ство на- блюдений,	Суммарное испарение за период наблюдений с поверхности, мм		
	галита	рапы	воды	сутки	галита	рапы	воды
1956 VIII IX X 1957 VI VIII	2,0 1,4 2,4 2,8 3,8 1,6	6,5 6,2 4,2 11,4 8,4 8,1	14,7 11,8 6,2 18,2 18,0 14,1	15 17 16 9 22 12	34,2 23,7 38,9 31,2 68,2 19,4	105 113 67 114 161 98	236 212 99 201 373 141

Наблюдения за испарением охватили в основном осенний период 1956 г. и летний 1957 г., когда (особенно летом 1957 г.) часто выпадали ливневые дожди, не типичные для этого времени года в Приаралье. После ливней на озере часто появлялась поверхностная рапа,

исчезавшая только через несколько дней. Этим в основном объясняется небольшое количество дней, в которые удавалось получить полноценные данные по испарению. По этой же причине суммарное испарение в ванночках, в которых замеры производились два раза в сутки, обычно было больше, чем в ванночках, которые взвешивались один раз в сутки. Особенно сильно оно разнилось в июле 1957 г., когда жаркая сухая погода перемежалась сильными, но, как правило, кратковременными ливнями.

Испарение за день обычно значительно превышало испарение за ночь. В жаркое время оно чаще было ближе к дневному, осенью (а иногда и летом) при значительной разнице дневной и ночной температур ночное испарение было весьма небольшим, иногда даже равнялось нулю.

Испарение с поверхности галита было значительно меньше испарения с поверхности открытой рапы, а последнее значительно меньше, чем с поверхности пресной воды. Испарение с поверхности галита в дневное время в основном колебалось от 1,0 до 2,5 мм, редко достигая 3-4 мм. Ночью испарялось 0,1-0,5, реже 1-2 мм. За сутки испарение обычно не превышало 3-4 мм и редко увеличивалось до 5-7 мм. Испарение с поверхности рапы за день, как правило, превышало в 2-4 раза испарение за ночь. За сутки испарялось 5-8 мм, однако при значительном повышении температуры оно увеличивалось до 10-12 мм. Испарение с поверхности пресной воды за сутки изменялось от 10 до 20 мм, снижаясь в отдельные дни до 8-4 мм или повышаясь до 24-28 мм. В октябре оно колебалось от 3 до 8 мм.

Всего из ванночки с монолитом галита, которая взвешивалась 2 раза в сутки, испарилось 280 мм, а из ванночки, которая взвешивалась один раз, - 193,5 мм. Во второй ванночке в течение 13 суток испарение перекрывалось выпадающими осадками, а в первой ванночке фиксировалось испарение за ту половину суток, в которую дождя не выпадало. За время наблюдений, исходя из средних данных за сутки, с поверхности галита испарилось 245 мм, с поверхности рапы 657 мм, с поверхности пресной воды 1267 мм. Следует учитывать также, что к периоду интенсивного испарения относятся апрель, май, начало июня - конец октября. Кроме того, в дни выпадения дождей или подъема уровня рапы на озере испарение полностью не прекращалось. Поэтому величина испарения за год могла быть значительно больше, чем полученные нами данные. Исходя из результатов наблюдений за испарением и метеорологическими факторами, была прослежена связь испарения с температурой и влажностью воздуха и температурой испаряющей поверхности, в соответствии с которой были рассчитаны величины испаряемости за полные месяцы периода наблюдений (табл. 3).

По этим расчетам, за период летнего максимума температур (июнь — август 1957 г.) испаряемость в среднем составляла: с поверхности галита 240-290 мм, с поверхности рапы 650-760 мм, с поверхности пресной воды 1200-1400 мм; за период осеннего

понижения температур (август — октябрь 1956 г.) соответственно: с поверхности галита 160-175 мм, с поверхности рапы 450-510 мм, с поверхности воды 800-870 мм.

Таблица 9 Величины испаряемости на оз. Восточном за август—октябрь 1956 г. и за июнь—август 1957 г.

_	Испаряемость с поверхности, мм					
Годы, месяцы	галита	рапы	пресной воды			
1956						
VIII	50-62	150—194	390-433			
IX X	38-43 70-70	179—191 125—125	323—354 184—184			
1957	10-10	125-125	104-104			
VI	77—90	300—338	496-542			
VII	131-151	216—261	469-562			
VIII	29-35	136—165	219—321			

Из приведенных данных следует, что испаряемость с поверхности; пласта галита примерно в три раза меньше, чем с поверхности рапы, а с последней почти в два раза меньше испаряемости с поверхности пресной воды.

Сравнение результатов наблюдений на оз. Восточном и на оз. Индер показало, что испарение с поверхности рапы в июле и сентябре на оз. Восточном было в 1,3-1,8 раза больше, в июле было близко к испарению на оз. Индер, а в августе в 1,4-2 раза меньше, чем на последнем. Испарение же межкристальной рапы с поверхности пласта галита было больше в среднем в 50-60 раз.

Испарение с поверхности «сухих» соляных озер имеет свои особенности. Большую часть периода интенсивного испарения на озере обнажается пласт соли, испарение с которого в три раза меньше, чем с открытой рапы, что замедляет процесс накопления солей, хотя и не в такой степени, как это наблюдалось на оз. Индер. Исчезновение поверхностной рапы происходит значительно позже начала интенсивного испарения, а появление — раньше его окончания. Поэтому за весенне-осеннее время, по-видимому, испаряется немногим меньше, чем с пласта галита летом.

Несомненно, что на испарении с пласта галита сказываются характер пористости и размеры пор, которые могут быть различными в разных частях озера и изменяться в течение года. Наблюдения на оз. Индер показали, что испарение в большой степени зависит от состава и концентрации солей в рапе. При большой разнице в величинах испарения воды на оз. Индер и оз. Восточном, объясняющейся разными климатическими условиями районов, близкие величины испарения с поверхности рапы могут объясняться в основном

разным составом рапы (например, более высоким содержанием в рапе оз. Восточного SO_4 '' и Mg^{\cdots}). Опыты по испарению рапы с разным составом солей целесообразно продолжить и расширить.

Анализ условий проведения опыта, строения пласта галита на озерах Приаралья и Прикаспия, изучение термического режима озер, циркуляции рапы и ее уровней позволяют полагать, что опыты по испарению на оз. Индер и оз. Восточном проводились на монолитах галита разного строения и пористости. Строение верхнего слоя галита на оз. Восточном является более типичным для «сухих» соляных озер.

Роль испарения в режиме соляных озер давно признана и никем не оспаривается, однако количественная сторона этого процесса до сих пор освещена недостаточно, что нередко приводит к ошибкам в определении возраста, режима и направления развития соляных озер. Опыты на оз. Индер невольно способствовали этому.

Многолетние наблюдения за соляными озерами, проверка их через несколько лет или десятилетий, сопоставление между собой показывают, что в них продолжаются процессы преобразования солевых залежей, накопления солевой массы или ее потери. Это происходит при ведущей роли испарения, которое определяет скорость, а отчасти и направление процесса изменения соляного озера.

Исследованиями в Приаралье и в других районах (Овчинников, 1960; Земляницына, 1963) установлено, что основным источником питания «сухих» озер являются грунтовые воды. При этом в озера нередко поступают сильно минерализованные воды, образовавшиеся за счет испарения грунтовых вод на пути следования, особенно на соровой полосе.

Роль рапы в преобразовании солевых залежей

В озерах постоянно происходят, растворение и садка солей, взаимодействие жидкой и твердой фаз. В рапных озерах без отложений солей твердая фаза появляется периодически в виде новосадки. В рапных озерах с отложениями солей заметную роль в их режиме начинает играть и межкристальная рапа, которая еще мало изучена. Воздействие на пласт солей поверхностной рапы сказывается в основном в верхнем слое пласта, не оказывая заметного влияния на преобразование уже отложившейся залежи. Можно полагать, что в этом процессе межкристальная рапа играет основную роль. На это указывают состав и строение солевых залежей некоторых озер.

М. Г. Валяшко (1962) указывает, что соляной бассейн в своем развитии проходит подготовительную стадию, в которую происходит накопление солей в растворе и формирование его состава, и стадию самосадочную, в которую начинается формирование соляных отложений. С этого момента начинаются и диагенетические процессы, преобразующие выпавший соляной осадок в соляную породу, к которой М. Г. Валяшко относит корневые отложения солей. Эти превращения возможны только при изменении состава рассолов,

пропитывающих солевые отложения, когда рассолы из равновесных с отложениями солей становятся неравновесными им. Это может происходить только при перемещении рассолов в солевой залежи, которое вызывается разными причинами. Одна из них - повышение концентрации и плотности рапы в результате испарения и опускание токами, которую М. Г. Валяшко считает конвекционными основной. Такую причину можно признать главной только для небольшой группы озер, в которых межкристальная рапа летом имеет меньшую плотность, чем поверхностная. Случаи, когда плотность межкристальной рапы ниже плотности поверхностной, сравнительно нередки, но, как правило, не носят регионального и постоянного характера. Да и причина этого явления часто не имеет прямой связи с испарением. Нельзя не учитывать и того, что перемещение рапы разной плотности по вертикали происходит неодинаково в слое поверхностной рапы и в солевой залежи. Во многих озерах межкристальная рапа содержит большее количество сульфатных солей, чем рапа поверхностная, и поэтому в среднем обладает большей плотностью. В холодное время из-за выпадения мирабилита плотность межкристальной рапы часто понижается, но и плотность рапы поверхностной в это время обычно понижена. Поэтому считать испарение в качестве основного, а тем более единственного фактора, определяющего характер и интенсивность перемещения рапы в озере и солевой залежи, вряд ли правильно.

Вторая причина перемещения рапы в солевой залежи и обмен ее с поверхностной рапой, по нашему мнению, связана с условиями питания озера грунтовыми и напорными водами, поступающими через «окна». Можно полагать, что в озере существуют не только вертикальные, но и горизонтальные потоки таких вод от берега к центральным частям озера на участках, где вертикальная фильтрация более затруднена, чем горизонтальная.

Наиболее полно преобразующая солевые залежи роль межкристальной рапы проявляется на «сухих» озерах. Этому способствует возрастающее ее влияние грунтовых вод в питании озера, что вызывает усиление циркуляции рапы в солевой залежи и изменение термического режима по сравнению с рапными озерами. Из приведенных данных по оз. Восточному можно видеть, что плотность рапы в солевой залежи увеличивается сверху вниз, при резких понижениях ее в зимнее время. Колебания плотности рапы и их амплитуда неодинаковы в пластах разного минералогического состава; неодинаковы состав рапы и характер изменения его в течение года.

На диаграммах системы ${\rm Na_2SO_4}+{\rm MgCl_2}<=>2{\rm NaCl}+{\rm MgSO_4}$ при 25 и 0° (см. рис. 7–11) фигуративные точки состава рапы в разных пластах в годовом цикле перемещаются неодинаково. Судя по составу рапы, в верхних слоях астраханита летом может образовываться тенардит, что и было подтверждено находками его на озерах Восточном и 19г. В отношении же верхних слоев пласта мирабилита подтверждено, что в них возможно образование астраханита, чему благоприятствует и температурный режим этого пласта.

Отмечено, что в 1956 г. в солевой залежи оз. Восточного, между пластами галита и астраханита скважинами почти всюду был встречен невыдержанный по мощности (2-15 см) прослой кашеобразного глауберита. При бурении скважин в 1948-1949 гг. его здесь обнаружено не было. Судя по термическому режиму солевой залежи озера, образование здесь глауберита вполне возможно. Неясным остается источник иона кальция, так как в рапе он содержится в небольшом количестве, правда резко изменяющемся как по разрезу солевой залежи, так и в годовом цикле, но недостаточном для образования прослоя глауберита за счет статических запасов его в рапе. Наиболее вероятным является поступление иона кальция с грунтовыми водами, перемещающимися после донасыщения их на границе соровой полосы и солевой залежи от берегов к центральным частям озера в виде потока в нижних слоях галита и верхних слоях пласта астраханита.

Глава IV ПИТАНИЕ СОЛЯНЫХ ОЗЕР

Вопросы питания соляных озер водой и солями были предметом многолетних споров между их исследователями. Эти вопросы остаются нерешенными окончательно и в настоящее время. Сторонники различных точек зрения до сих пор еще не пришли к единому мнению.

Уже почти не осталось сторонников представления, что соляные озера и пласты солей в них образуются за счет стока в озерную котловину поверхностных талых и дождевых вод и их испарения. Некоторые исследователи считали основным источником солей озер воды моря и крупных водоемов, другие - глубинные подземные воды, размывающие древние отложения солей. Сторонники речного питания основную роль в накоплении солей отводили речным водам. Часть исследователей считала, что основным источником питания соляных озер являются грунтовые воды, другая отдавала предпочтение напорным подземным водам. Одни главную роль отводили местным источникам питания, другие признавали необходимым транзитный привнос солей из других областей. В качестве первоисточника солей принимались засоленные морские отложения, древние отложения солей, продукты разложения близ поверхности земли глубинных пород, катионы легкорастворимых солей, освобождающиеся в результате катионного обмена в глинах и почвах.

Следует отметить, что все сторонники перечисленных источников накопления солей в определенной мере правы: все указанные источники участвуют в накоплении солей в соляных озерах и в образовании в них солевых залежей. По-видимому, основной ошибкой этих исследователей была абсолютизация роли одного из этих источников и недооценка роли других, менее заметных или проявляющихся слабее.

При рассмотрении физико-химических процессов в соляном озере исследователи обычно абстрагируются от постоянного воздействия на него внешней среды, проявляющегося в том, что питание

озера водой и солями продолжается как во время повышения концентрации солей в рапе озера, так и во время образования твердых соляных отложений и в период «сухого» соляного озера. Для познания физико-химических процессов в соляных озерах такое абстрагирование необходимо, однако увлечение им может приводить к одностороннему представлению о режиме, питании, направлении развития озера.

Связи с внешней средой могут быть весьма многообразными не только у разных соляных озер, но и у одного озера в различные периоды его существования. Одна сторона этих связей — испарение, вторая сторона — питание. В питании соляных озер практически во всех случаях принимают участие и поверхностные, и подземные воды.

Роль поверхностных вод временных водотоков, рек и моря

Временные поверхностные водотоки в питании соляных озер играют подчиненную роль. Большая часть поверхностных вод, поступающих в озера по временным водотокам (оврагам, балкам, ложбинам), образуется за счет таяния снега и стекает в них в период, когда грунт еще полностью не оттаял. Поэтому данные воды большей частью слабо минерализованы и приносят в озера ничтожное количество солей.

Другая часть стока по временным водотокам, связанная с выпадением дождей, играет в питании озер несколько большую, но также не очень значительную роль. Часть их просачивается в горизонт грунтовых вод или пополняет почвенные воды и только небольшая их часть непосредственно стекает в озера.

Произведенные в ряде районов исследования солей в атмосферных осадках и временных водотоках и обобщенные главным образом М. Г. Валяшко (1962) показали, что в их водах, за редкими исключениями, преобладают бикарбонаты, а сульфаты и хлориды содержатся в значительно меньших количествах. Из катионов в них большей частью преобладает ион кальция, в меньших количествах содержится ион натрия.

Большое влияние на минерализацию поверхностных вод оказывают местные условия района соляного озера: породы, слагающие с поверхности окрестности озера, почвенный и растительный покров, глубина залегания грунтовых вод, пористость грунтов, распределение осадков по сезонам, характер их выпадения, строение ложбин стока.

По утверждениям Е. В. Посохова (1955), за счет поверхностных талых и дождевых вод образуются только солоноватые пересыхающие озера. Образования соляных, рапных с постоянным слоем рапы, «сухих» с пластом солей озер за счет данных вод, как правило, не происходит.

Практическая невозможность образования соляных озер только за счет талых и дождевых вод не исключает участия этих вод в пита-

нии каждого соляного озера, воздействия их на солевой состав рапы и солевых залежей, их особой роли в период нередкой потери озером солей при понижении уровня грунтовых вод.

Реки и даже речки как источник питания озер водой и солями представляют собой более мощный фактор, чем временные водотоки, так как функционируют постоянно или пересыхают на сравнительно небольшой промежуток времени, собирают воду с больших площадей, чем временные водотоки, в свою очередь нередко питаются грунтовыми водами.

Участие речных вод в питании соляных озер имеет различный карактер. В одном случае реки и речки впадают непосредственно в соляное озеро (впадение р. Кучука в оз. Кучук, р. Кулунды в оз. Кулунда). В другом случае они прорываются в озера только в половодье (р. Чу), часто не каждый год, а только в многоводные годы. В третьем случае воды реки попадают в озера, расположенные на продолжении подруслового потока, только через горизонт грунтовых вод, в который «впадает» большая часть рек, теряющихся на пути к морю. Подобные группы соляных озер, рапных или «сухих», встречаются в низовьях многих рек (низовья рек Чу, Сарысу, Эмбы, Сагиза, Таласса и др.). В приведенных выше трех случаях роль речных вод в питании озер неодинакова.

Когда воды реки впадают непосредственно в озеро, оно редко превращается в соляное и еще реже в нем образуется солевая залежь. Значительное увеличение концентрации солей в рапе и образование солевой залежи в таких озерах обычно происходит при изменении режима впадающей в озеро реки, выражающемся в значительном сокращении притока воды. Эти озера почти во всех случаях располагаются на продолжении подруслового потока и отдают ему часть своей, уже минерализованной воды. Озера, непосредственно связанные с речным потоком, обычно являются первой ступенью в повышении минерализации воды и первой стадией образования соляного озера. Последующие стадии такое озеро проходит в результате дальнейшего отступания реки, когда связь с ее русловым потоком все больше нарушается.

Исключительность образования соляных озер в котловинах, непосредственно связанных с транзитной и местной реками, объясняется
также переносом последними большого количества взвешенного
терригенного материала, что является типичным для засушливых
областей. В подобные озерные котловины терригенного материала
поступает часто больше, чем растворимых в воде солей, и озера заполняются песчано-глинистыми осадками раньше достижения водой
значительной минерализации. Но существенную роль озер, непосредственно питающихся речными водами, в общем процессе накопления солей недооценивать нельзя. Эти озера являются своеобразными
отстойниками или фильтрами, задерживающими основную часть
переносимого рекой терригенного материала, и одновременно мощными испарителями, создающими сильно минерализованные воды,
поступающие в горизонт грунтовых вод, по которому они переме-

щаются в котловины, расположенные ниже по сохранившемуся подрусловому потоку.

В отдельных случаях эти озера соединяются с расположенными ниже протоками, функционирующими постоянно или периодически, питая их водой повышенной минерализации и освобожденной от взвешенного материала (озера в низовьях рек Чу и Сарысу). В конечных озерах таких цепочек встречаются озера с небольшими слоями мирабилита, галита, иногда тенардита.

В котловинах, в которые речные воды попадают только в период паводков (иногда раз в несколько лет), образование соляных озер происходит относительно часто. Характерными чертами таких озер являются неустойчивость их режима, частые и очень значительные изменения в состоянии, происходящие в многолетние периоды изменения климата и в периоды изменения режима и величины стока рек, к долинам которых они приурочены. В таких озерах более значительную роль, чем в озерах, непосредственно связанных с рекой, играют грунтовые воды, большую часть времени питающие их и определяющие их режим. Чаще всего это воды подруслового потока, которые поступают в горизонт грунтовых вод за счет фильтрации речных вод или вод озер, сообщающихся с рекой. На состав таких грунтовых вод могут оказывать воздействие грунтовые воды, поступающие в подрусловый поток из отложений террас и коренных отложений, вмещающих долину реки. Смешение этих вод приводит к метаморфизации и изменению состава растворенных в воде солей.

В озера второго вида поступают воды несколько иного состава, чем в озера первого вида. Изменению их состава способствует и испарение грунтовых вод. Карбонаты и бикарбонаты, занимающие в речных водах преимущественное место, перемещаются на подчиненное (а нередко и на третье) место за счет выпадения и в озерах первого вида, и в горизонте грунтовых вод карбоната кальция и в более редких случаях карбоната магния. На преобладающее место сначала выходят сульфаты, а затем, при дальнейшей концентрации солей в этих водах, и хлориды за счет выпадения гипса. Одновременно происходит перемещение с преобладающего на подчиненное (а затем и на третье) место катиона Са . Содержание же сульфатов и хлоридов натрия и магния продолжает увеличиваться. Поступление в эти озера паводковых вод приводит к разбавлению рапы, изменению ее состава, резкому изменению ее уровня, нередко к частичному растворению солевой залежи и избирательному выносу из озера в горизонт грунтовых вод тех или иных солей. Примерами озер второго вида могут служить Ажбулат и Бурлинское.

В котловинах, в которые воды рек попадают только через горизонт грунтовых вод в виде еще сохранившихся подрусловых потоков, также образуется большое количество рапных (а чаще даже «сухих») соляных озер. Такие озера обычно наиболее удалены от действующих русел рек, расположены на их продолжении или в боковых частях долин в отмерших руслах и протоках (озера в низовьях

р. Чу, рис. 12). Существование подобных озер зависит от уровня грунтовых вод близ них.

Изменения местного базиса эрозии в долинах отступающих и транзитных рек в аридной зоне — явление закономерное, связанное с планацией данных рек по широким аллювиальным равнинам,

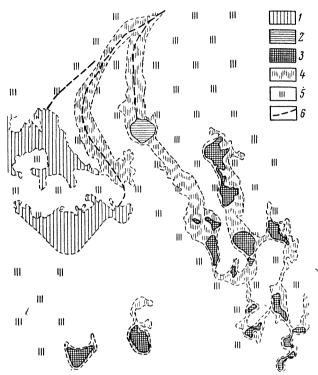


Рис. 12. Схема расположения содяных озер близ урочища Саумак-коль в низовьях р. Чу (солончаками и сорами озера связываются в единую систему).

1 — озера без отложений солей (летом нередко пересыхают; 2 — рапное озеро (рапа сохраняется круглый год; 3 — «сухие» соляные озера с пластами галита, тенардита, астраханита, мирабилита (в озеро паводковые воды не поступают); 4 — солончаки и соры; 5 — бугристые пески; 6 — временные протоки р. Чу (летом пересыхают).

меандрированием, прорывом в новые более глубокие русла, уходом их в сторону от старых русел иногда на десятки километров, проложением новых русел в «своих» же образованиях. Эти перемещения рек приводят к тому, что в разных участках их долины создаются обширные бессточные понижения со своими местными базисами эрозии, которые при изменении режима рек и их водного стока могут снова становиться проточными.

Соляные озера третьего вида заключают обычно довольно мощные (до нескольких метров) пласты солей с разнообразным минералогическим составом, в которых кроме мирабилита и галита часто

встречаются тенардит, астраханит, эпсомит. Есть основания полагать, что такое разнообразие в солевых залежах озер по сравнению с залежами озер второго вида связано с иными условиями питания, в котором участвуют первично речные воды, но прошедшие длинный путь в горизонте грунтовых вод и поэтому сильно метаморфизованные и обогащенные солями из вмещающих водоносный горизонт пород. Ознакомление с тремя видами озер в речных долинах позволяет предположить, что все они представляют соляные озера, находящиеся на разных стадиях развития, т. е. являются последовательными стадиями развития соляных озер в долинах рек в аридной зоне. Этим стадиям развития соляных озер соответствовали постепенное уменьшение в их питании роли речных вод и возрастание в последнем грунтовых, а иногда и напорных подземных вод. Третьим источником питания этих озер были воды временных водотоков, игравшие несомненно второстепенную роль. Эта схема образования и изменения соляных озер в речных долинах, разумеется, упрощена, поскольку в процессе их развития возможны и неоднократные регрессивные изменения, связанные с прекращением отступания рек и увеличением обводненности долин.

Соляные озера, расположенные на морских побережьях или близ берегов крупных водоемов, большей частью связаны с морем или с этими водоемами.

Как и в случаях с соляными озерами в долинах рек, участие вод моря в их питании на побережьях имеет различный характер. Одни озера питаются непосредственно водами моря; другие питались в недалеком или далеком прошлом, а в настоящее время отделены от него пересыпями, перемычками; третьи в отдельные периоды заливались водами моря при более высоком стоянии или кратковременных повышениях его уровня; четвертые практически не пополнялись водами моря и имели другие источники питания. Среди приморских озер целесообразно также выделить две наиболее крупные группы: 1) отшнуровавшиеся от моря заливы, лагуны и соединительные с морем протоками котловины иного происхождения; 2) озера, расположенные в придельтовых частях и долинах впадающих (или впадавших раньше) в море рек и речек. Примером соляного озера, питающегося водой моря в настоящее время и в далеком прошлом, может служить Кара-Богаз-Гол. Главная роль в его питании водой и солями Каспийского моря настолько очевидна, что остальные источники его питания не проверялись и не учитывались. Положение залива изменилось, когда годовой приток вод Каспия уменьшился с 25 до 9-11 км 3 , падение уровня рапы в заливе достигло более 4 м, акватория сократилась более чем на одну треть. В результате затронутая этими процессами часть залива превратилась в сухое соляное озеро.

На приведенном примере можно видеть, что морская вода, питавшая залив продолжительное время, ранее не приводила к заметным изменениям в его состоянии. И только резкое нарушение баланса между притоком и испарением воды вызвало крупные изменения

в состоянии залива за короткий промежуток времени. Даже в современных условиях, когда рапа в заливе обновляется почти в два года, приращение соляной суши составляет всего $10-12~\rm km2$ в год, т. е. менее 0.1% от площади акватории. В настоящее время по немногим прямым и косвенным фактам, подтверждающим участие в питании залива подземных вод, можно видеть, что последние в питании и преобразовании современной солевой залежи и погребенных пластов залива играют не меньшую роль, чем морские воды. Это позволяет прийти к выводу о том, что в процессе развития соляного озера роль одного источника питания уменьшается и становится второстепенной, а роль второстепенного источника становится главной. В условиях соляных озер, связанных с морем, первым являются обычно морские, а вторым подземные воды.

Таким образом, морские воды, являясь мощным и стабильным источником питания, как и речные воды, большей частью играют, основную роль в питании озера в его подготовительной стадии, в постепенном и довольно медленном накоплении солевой массы в его рапе.

Значительно сложнее проследить характер связи с морем и роль морской воды в соляных озерах, которые в отдельные периоды заливались водами моря при более высоком стоянии его уровня или кратковременных его повышениях.

Это затруднение связано с тем, что значительное количество соляных озер, тяготеющих к морским побережьям, приурочено к долинам или дельтовым и придельтовым частям крупных и мелких рек, впадающих или ранее впадавших в море.

В вопросе о преимущественной роли вод реки или моря в питании данной группы соляных озер нельзя отдать предпочтение той или иной крайней точке зрения. Это относится, например, к переуглублению озерных котловин ниже уровня моря. Как известно, продольный профиль русла реки характеризуется волнистой линией, соответствующей чередованию плесов и перекатов, разница отметок дна которых может превышать $10-20\,\mathrm{m}$. Понижения, имеющие отметки ниже отметок уровня моря, могли образоваться и при более низком базисе эрозии реки в прошлом, подтверждаемым мощностью аллювиальных отложений, нередко превышающей 10-20 и 30 м. С другой стороны, в частности В. И. Лымаревым (1967), подробно охарактеризован так называемый лопастной тип берегов на Аральском море, который давал начало понижениям, постепенно обособившимся от моря и имевшим отметки более низкие, чем современный уровень моря. В результате в таких понижениях могли образоваться озера при подпитывании их через грунт морскими водами. Явление это имеет место, однако отводимая ему роль сильно преувеличена. По мере удаления от берега моря в глубь суши соотношение фильтрующихся морских вод и грунтовых вод суши, поступающих по всему периметру понижения или соляного огера, очень быстро изменяется в сторону значительного преобладания последних.

Таким образом, воды моря участвуют в питании большинства соляных озер, расположенных на его побережьях. Однако их роль

в развитии охарактеризованных групп озер неодинакова: наиболее значительна она в озерах, соединенных с морем протоками, минимальная в озерах, сравнительно удаленных от берега моря и расположенных в дельтах и долинах рек, заливающихся только кратковременными ингрессиями или питающихся за счет фильтрации морских вод. Это не умаляет роли морских вод в засолении ими обширных территорий.

Роль почвенных, грунтовых и напорных подземных вод

Вопрос о роли подземных вод в питании соляных озер поднимался очень давно и претерпел неоднократную смену воззрений на роль этих вод. В настоящее время почти никем не разделяется представление о питании озер подземными рассолами, поднимающимися с больших глубин, как о сколько-нибудь типичном явлении, а не исключении, связанном с районами интенсивной тектонической деятельности. В то же время многими исследователями не без оснований указывается на питание некоторых озер водами повышенной минерализации, связанными с глубокими водоносными горизонтами, выходящими в бортах или днищах озерных котловин, или с солянокупольными образованиями. Участие в питании соляных озер грунтовых вод сейчас почти никто не отрицает (Страхов, 1962; Валяшко, 1962; Дзенс-Литовский, 1957; Посохов, 1968). В частности, А. И. Дзенс-Литовским были выделены подозерные и или околоозерные, воды, неоднократно указывалось на поступление в озера подземных вод через береговые отложения и через «окна» в солевой залежи. Однако количественная сторона питания озер грунтовыми водами в литературе практически не освещалась.

При рассмотрении вопроса о роли подземных вод в питании соляных озер целесообразно выделить воды: почвенные, грунтовые и более глубоких водоносных горизонтов, большей частью напорные.

Почвенные воды занимают промежуточное положение между поверхностными и грунтовыми водами. Они питаются выпадающими осадками, фильтрующимися в грунт, конденсирующимися на поверхности парами воды из воздуха, капиллярно поднимающимися грунтовыми водами. Часть почвенных вод просачивается в горизонт грунтовых вод; при испарении почвенных вод на поверхности земли накапливаются соли, образующие выцветы и корки. При высоком стоянии грунтовых вод почвенные воды находятся в зоне их капиллярного поднятия; при их низком стоянии почвенные воды находятся в подвешенном состоянии. При заметных неровностях поверхности земли, особенно на склонах понижений и озерных котловин, почвенные воды перемещаются вниз по склону поверхности, иногда достигая и соляных озер. Почвенные воды в зависимости от характера материнских пород, растительности, засушливости климата и других факторов чаще всего обогащаются карбонатами, сульфатами или хлоридами натрия. Минерализация почвенных вод нередко в несколько раз превышает минерализацию грунтовых вод, достигая

200-300 и даже 400 г/л. По данным К. Я. Кожевникова (1953), занимавшегося изучением засоленных почв в низовьях р. Сырдарьи здесь широко распространены засоленные почвы, в которых преобладают сульфаты натрия — мирабилит и тенардит.

Почвенные воды, детально изучавшиеся почвоведами, мелиораторами, ирригаторами для специальных целей, остаются почти неизученными в отношении их роли в соленакоплении.

Грунтовые воды, как правило, ненапорны, хотя на отдельных участках и приобретают местный напор. Их область питания в основном совпадает с площадью распространения, что сказывается на условиях их формирования и режиме, находящемся под непосредственным воздействием атмосферных факторов. Источниками питания грунтовых вод наряду с атмосферными осадками могут быть воды рек, теряющихся в песчаных руслах или современной сухой дельте, или крупных транзитных рек, а также отдельные участки берегов озер и даже морей. В засушливой зоне грунтовые воды не только дренируются реками, озерами, морями, но на больших площадях с неглубоким залеганием отдают большие количества своих запасов в атмосферу за счет испарения.

Роль грунтовых вод в питании соляных озер чаще недооценивалась, чем переоценивалась. Громадные величины испарения с поверхности рапных озер, встречающихся даже в самых засушливых районах и не имеющих видимых источников питания (кроме весеннего стока поверхностных вод, достаточного для сохранения в котловинах воды лишь на срок не более 1,5-2 месяцев), заставляют искать другие источники пополнения вод этих озер, сохраняющих слой рапы в течение всего года. Напрашивается вывод об интенсивном питании этих озер именно грунтовыми водами.

Большая часть соляных, солоноватых и пресных озер располагается в долинах и дельтах рек. Меньшая группа таких озер находится поблизости от берега моря и еще более редкие озера приурочены к окраинам песчаных массивов. Общим для всех этих озер является близость зеркала грунтовых вод к поверхности земли.

Как отмечалось, поверхностные морские и особенно речные воды находятся с грунтовыми водами в связи и взаимодействии. Эта связь имеет двухсторонний характер: грунтовые воды в засушливых районах питают реки, но иногда и питаются водами рек; питают море, но на отдельных небольших участках питаются водами моря; питают озера, но иногда и питаются водой или рапой озер. Такой обратимый характер связи усиливает разнообразие минерализации и состава грунтовых вод, которое в большой степени зависит от состава вмещающих их пород и от характера среды, в которой эти воды воздействуют на вмещающую их породу — щелочной или кислой, восстановительной или окислительной. Медленно движущиеся воды интенсивнее обогащаются различными солями и могли бы служить эффективным источником накопления солей в озерах. Однако медленное движение этлх вод делает недостаточным их приток для поддержания стабильного уровня рапы в озере. Представляется

очевидным, что озера с постоянным слоем рапы или воды могут существовать только при условии их питания достаточно мощным грунтовым потоком, чаще всего связанным с хорошо отсортированными песками русловых отложений.

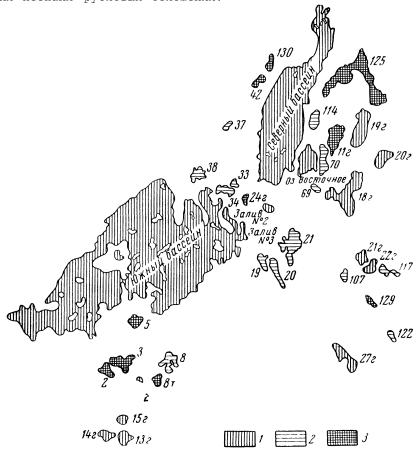


Рис. 13. Схема расположения основных соляных озер Джаксы-Клычского месторождения (Южный и Северный бассейны озера разделены перемычкой с расположенными на ней более мелкими озерами, сорами и солончаками).

1 — галитовые, 2 — мирабилитовые, 3 — тенардитовые

Выражение «реки, впадающие в атмосферу», верно лишь отчасти, так как на испарение расходуется только часть вод, протекающих по руслам рек и теряющихся в песках. Значительная часть их уходит в горизонт грунтовых вод, образуя под сухим руслом грунтовый поток.

За последние десятилетия условия питания озер грунтовыми водами все чаще получают количественное выражение.

Изучение взаимосвязи «сухих» соляных озер с грунтовыми водами проводилось на Джаксы-Клычском месторождении в 1947—1957 гг. под руководством автора. В 1948—1950 гг. в работах принимала участие Н. Ф. Лобанова. Этими работами определялись особенности водоносного горизонта: литология, распространение, водообильность, характер и направление его потоков, изменение химического состава воды по сезонам и на участках, различно удаленных от соляных озер. Изучались взаимодействие и связь грунтовых вод с соляными озерами, количества поступающих в озера воды и солей. Было установлено, что от 50 до 70% притока в озера составляют грунтовые воды. Расположение основных озер месторождения приведено на рис. 13.

Связь озер с грунтовыми водами изучалась при исследовании озер Кучук, Маралды, Бурлинского, Калкаман, Жалаулы, Теке, Кызыл-Как в Алтайском крае и Павлодарской области. Исследования показали, что в приходной части баланса этих озер грунтовые воды составляют не менее 20-30%. В течение года питание озер грунтовыми водами более стабильно, чем речными. В годичном цикле грунтовые воды также испытывают колебание уровней, но значительно меньшее, чем речные волы.

«Сухие» соляные озера заключают в основном межкристальную и иловую рапы. В галитовых озерах уровень рапы зимой и весной поднимается выше поверхности солевой залежи, а летом, опустившись ниже поверхности соли, не понижается более 2-5 см. В мирабилитовых озерах уровень рапы летом опускается значительно ниже поверхности пласта мирабилита, а зимой поднимается, но, как правило, не достигает его поверхности. В тенардитовых озерах он занимает промежуточное положение: в одних озерах изменяется почти как в мирабилитовых, в других — почти как в галитовых.

Можно полагать, что наиболее интенсивное питание грунтовыми водами получают галитовые озера, в течение всего лета сохраняющие почти неизменным уровень рапы, несмотря на значительное испарение. Опыты на оз. Восточном показали, что испарение с галита за период, когда на озере отсутствует поверхностная рапа, составляет третью часть от испарения за этот период с поверхности открытой рапы. Если учитывать интенсивное испарение весной и осенью, когда на озере сохраняется поверхностная рапа, то потери «сухим» озером на испарение могут составлять около половины количества рапы, теряемой на испарение рапным озером.

Представляется вероятным, что сокращение притока грунтовых вод в «сухое» озеро по сравнению с рапным почти в два раза является одной из причин перехода рапного озера в «сухое». Сокращение притока в озеро грунтовых вод может быть вызвано изменением их режима — падением их уровня или изменением условий их взаимодействия и рапы озера.

Питание соляного озера, а следовательно, и поступление в него менее минерализованных вод, иногда отличающихся по составу от рапы, происходит постоянно, на протяжении всего времени

существования озера. Поэтому и образование илов с труднорастворимыми солями, являющееся результатом смешения грунтовых вод и рапы, происходит постоянно. Этот процесс (обычно называемый процессом метаморфизации рапы) был экспериментально проверен М. Г. Валяшко и др. (1952, 1953) на примере бикарбоната кальция, взаимодействующего с насыщенными и разбавленными растворами карбонатного, сульфатного и хлоридного типов.

В связи с этим целесообразно остановиться на результатах взаимодействия грунтовых вод и рапы озера, а также на образовании вокруг соляных озер так называемой соровой полосы. Хорошо известно, что поступление подземных вод из песчаных пород в озеро происходит двумя путями: 1) фильтрацией их по всему или большей части периметра озера и 2) прорывом напорных подземных вод на ограниченных участках через дно озера, образующим «окна» в солевой залежи. Фильтрация грунтовых вод через соровую полосу сопровождается интенсивным испарением, повышающим их минерализацию в несколько раз. В результате наблюдений, например, установлено, что в пределах соровой полосы оз. Восточного и других озер уровень грунтовых вод понижается по направлению к солевой залежи. На фоне общего понижения наблюдается скачкообразное снижение уровня (иногда ниже уровня рапы в озере), опоясывающее наиболее заиленную часть соровой полосы, характеризующуюся уменьшением фильтрационных свойств и большим испарением. Минерализация грунтовых вод на пути через соровую полосу повышается в несколько раз (от 40-60 до 160-200 г/л). При небольшом количестве грунтовых вод (большая часть их испаряется в пути), поступающих в озеро, в него привносится значительное количество солей. Усиленное испарение грунтовых вод в пределах соровой полосы и смешение их с рапой озера, отличающейся от них по составу солей, приводят к выпадению труднорастворимых солей, образующих здесь основную массу ила, уменьшающего фильтрационные свойства песка, и постепенному заиливанию соровой полосы. Процесс этот неравномерный и протекает интенсивнее там, где в озеро поступает наибольшее количество грунтовых вод. Эти воды просачиваются, пробивают себе путь к озеру то в одном месте, то в другом, иногда появляются на поверхности в виде незначительных родничков. Фильтрация их сопровождается заиливанием слоя песков на все большем удалении от солевой залежи. В то же время недонасыщенность солями грунтовых вод, соприкасающихся с солевой залежью, вызывает растворение краевых частей пластом соли и заиленным слоем песков прослоя полужидкого ила.

Особое место занимает поступление в озеро грунтовых вод с местным напором (чаще всего обусловленными подстилающим солевую залежь слоем ила, иногда суглинков) через дно озера. Эти воды значительно меньшей минерализации, чем воды соровой полосы, прорываются через слой ила и воздействуют на пласт соли более агрессивно, растворяя его на участках прорыва до самой поверхности и образуя «окна». Этому способствует меньшая плотность данных вод

по сравнению с межкристальной рапой, за счет которой происходит восходящее движение их в «окнах». Заполнение «окон» илами вызывает их постепенное отмирание и зарастание верхней части солью. Рядом или на других участках открываются новые «окна».

Следует подчеркнуть, что как соровая полоса, так и подстилающий солевую залежь слой ила и илистого песка являются образованиями, не только предшествовавшими отложению в озере солей (т. е. более древними по сравнению с солями), но и образованиями современными, формирование которых не закончено и продолжается в настоящее время.

Наблюдения за грунтовыми водами на Джаксы-Клычском месторождении показали, что они неодинаковы по минерализации и составу солей как по площади, так и в вертикальном разрезе. Близ массивов бугристых песков, окружающих понижение, к которому приурочены соляные озера, грунтовые воды имеют наименьшую минерализацию, часто составляющую лишь 1-2 г/л, в нижних же слоях она возрастает в 2-5 раз.

На пути от массивов песков к соляным озерам увеличивается общая минерализация грунтовых вод; при этом наиболее сильно увеличивается содержание Na₂SO₄, сильно - NaCl, менее сильно -MgSO₄. В нижних слоях горизонта грунтовых вод, нередко отделенных от верхних линзами суглинков или сильно глинистых песков, общая минерализация увеличивается несколько медленнее, чем в верхних, чаще всего не превышая $50-60 \, \mathrm{г/л}$, но при этом в них наиболее сильно увеличивается содержание хлоридов, несколько меньше - сульфатов; увеличение содержания иона магния происходит быстрее, чем ионов натрия и сульфата, настолько, что в водах появляется хлорид магния и вода приобретает хлор-магниевый подтип. В верхних же слоях горизонта грунтовых вод возрастание минерализации происходит очень неравномерно и, по-видимому, связано с различной интенсивностью испарения этих вод. На отдельных участках, где зеркало грунтовых вод находится близко к поверхности земли, минерализация последних нередко достигает 100-150 г/л.

В отношении соляных озер Джаксы-Клычского месторождения до сих пор сохраняется представление, что своим образованием они целиком обязаны водам Аральского моря, проникавшим в них по протокам. Действительно, в оз. Чумыш-куль по узкой долинке, протягивающейся от залива Аральского моря, перегороженного плотиной, до сих пор наблюдается слабый ток воды, фильтрующейся из-под плотины и достигающей озерной котловины. До постройки плотины в конце XIX века при подъемах уровня воды в заливе за счет ветровых нагонов наблюдался поток морской воды в котловину оз. Чумыш-куль и далее, в понижения с озерами Хан-торт-куль, Нур-пы-бай. Вероятно, при более высоких подъемах уровня моря морская вода по системе понижений достигала и озер Джаксы-Клычского месторождения. Об этом свидетельствуют распространенные здесь песчаные морские отложения, мощность которых обычно не превышает 10-20 см, с раковинами $Cardium\ edule$. Эти раковины встре-

чаются также в иле некоторых соляных озер и соров. Таким образом, воды моря, несомненно, поступали в понижения с соляными озерами месторождения. Однако незначительная мощность морских отложений свидетельствует о кратковременности пребывания здесь моря.

Расстояние от моря до Джаксы-Клычского месторождения через долинообразные понижения составляет около 60 км. Несмотря на несомненное участие морских вод в накоплении солей месторождения, считать этот источник главным, а тем более единственным, оснований недостаточно. Более вероятно, что эти соли после привноса их в район месторождения и засоления ими грунтов понижений и котловин постепенно перемещались в наиболее пониженые места и преобразовывались другими агентами, в частности грунтовыми водами.

Соляные озера Джаксы-Клычского месторождения разнообразны по составу и строению солевых залежей; даже в центральных, наиболее углубленных частях понижения имеют близкие отметки поверхности как галитовые, так и тенардитовые и мирабилитовые озера, несмотря на неодинаковые и, по-видимому, разновременные условия их образования. Характерно, что Южный бассейн оз. Джаксы-Клыч в прошлом представлял собой группу соляных озер с различным составом и строением солевых залежей, располагавшихся на более низких отметках. Эта группа озер, возможно, соединялась протоками и позже объединилась в одно озеро отложившимся в нем пластом галита, из-под которого лишь местами выступают цепочки островов (см. рис. 13).

Другим обстоятельством, указывающим на то, что морские воды не были главным источником образования солевых залежей соляных озер данной группы, является различие высотных отметок их поверхности. Если в центральной части понижения они на $4-7~\mathrm{m}$ ниже уровня моря и близки к абсолютным отметкам 45-48 м, то на его периферии эти отметки нередко достигают 51-54 м, т.е. находятся даже выше современного уровня моря. Близ этих озер нет следов морских отложений с остатками раковин. Нет их и севернее, северо-восточнее и восточнее месторождения, где в протоковидных понижениях выявлены также галитовые, тенардитовые и мирабилитовые озера, располагающиеся на еще более высоких абсолютных отметках (иногда до 60 м). Это еще раз указывает на то, что морские воды не принимали участия в образовании ряда озер рассматриваемого района. Степень участия их в образовании остальных соляных озер самая различная - от существенной до ничтожной. В какой-то мере их роль подобна роли речных вод и наиболее явно проявляется на первых этапах образования соляных озер, а затем они уступают свое место грунтовым водам, играющим на последующих этапах их существования основную роль, особенно заметную в стадию «сухих» соляных озер.

Изучение грунтовых вод района Джаксы-Клычского месторождения показывает на большое разнообразие их состава и минерализации, что не увязывается с выдвинутым в последние годы предположением В. И. Лымарева (1967), объясняющего образование соляных

озер месторождения фильтрацией вод из Аральского моря по системе понижений. Такая фильтрация на столь большие расстояния очень маловероятна из-за незначительности превышений.

При осмотре района сверху можно видеть, что от низовьев рек Тургая и Иргиза к Аральскому морю протягивается обширная аллювиальная равнина, в пределах которой расположено понижение к Джаксы-Клычскому месторождению, являющемуся ее составной частью. Большую часть этой равнины занимают массивы полузакрепленных песков и площади с глинистыми такырами, между которыми прослеживаются долинообразные и руслообразные понижения, направленные к Аральскому морю, с озеровидными расширениями, занятыми солончаками, болотистыми сорами и соляными озерами. Часть таких понижений протягивается и к Джаксы-Клычскому месторождению. Бурение скважин в этих понижениях и граничащих с ними массивах песков показало, что в песчаных отложениях понижений, иногда перекрытых эоловыми образованиями полузакрепленных песков, перемещаются потоки грунтовых вод, реликты подрусловых потоков. Эти понижения располагаются на отметках от 50 до 60 м, что, по-видимому, указывает на разный возраст этих проток.

Бурение скважин в пределах Джаксы-Клычского месторождения также подтвердило наличие здесь многочисленных погребенных песчаных русел, располагающихся на различных абсолютных отметках, воды которых нередко обладают значительным напором (обусловленным линзами суглинков и глин), имеют неодинаковый солевой состав и минерализацию, по-разному связаны между собой и с озерами.

Глубинные напорные подземные воды не играют основной роли в образовании соляных озер. Однако, когда эти воды могут разгружаться близ поверхности (в четвертичных отложениях) или выходить в виде источников на поверхность земли в непосредственной близости от озер, они могут оказывать заметное воздействие на накопление в них солей.

Благоприятными условиями для участия глубинных напорных вод в питании соляных озер являются: наличие дизъюнктивных тектонических нарушений, подводящих эти воды к поверхности; солянокупольные диапировые структуры; наличие глубоковрезанных котловин, вскрывающих коренные отложения и их водоносные горизонты. Большей частью они являются одним из источников питания, роль которого может увеличиваться или уменьшаться на разных стадиях образования и существования озера.

Глубинные воды большей частью имеют отличный от поверхностных и грунтовых вод состав растворенных в них солей. Он в значительной степени зависит от условий формирования этих вод. В районах, где воды эти участвуют в питании соляных озер, они чаще всего относятся к хлоридному типу, содержат хлориды натрия, кальция, реже магния и в незначительных количествах сульфат кальция, бикарбонаты кальция и магния. Такой состав имеют глубинные

воды в Прикаспии, во впадинах, окаймляющих Устюрт, в низовьях рек Чу и Сарысу и в других районах, хотя происхождение их неодинаково и связаны они с различными отложениями.

Выше уже упоминались соляные озера, связанные с солянокупольными структурами, — озера Индер, Баскунчак, Эльтон. В питании этих озер кроме глубинных вод участвуют поверхностные и грунтовые воды. Это относится даже к Индеру, расположенному в межкупольной впадине.

В котловинах, расположенных у подножий чинков Устюрта или на небольшом удалении от них (Карагие, Каунды, Карашор и др.), а также в русле Узбоя и котловине Барса-Кельмес на Устюрте, «сухие» соляные озера заключают солевые залежи, представленные в основном галитом с примесью гипса и ила. Все они питаются глубинными напорными подземными водами, связанными в основном с меловыми и третичными карбонатными породами и песчаниками. Этот источник питания для них не является единственным. Как правило, с противоположных бортов котловин в озера поступают грунтовые воды. С этих сторон соровые полосы обычно более широкие и часто более топкие. В некоторых котловинах (Карын-Жарык и Карашор) вдоль пологих берегов озер протягиваются массивы бугристых полузакрепленных песков, заключающих солоноватую или пресную воду со значительным содержанием в ней бикарбонатов. Почти во всех этих озерах рапа относится к хлор-магниевому подтипу сульфатного типа, но содержит очень мало сульфатов.

В соляных озерах с преобладанием грунтового питания над питанием глубинными водами (что возможно при усиленном поступлении их за счет реликтовых подрусловых потоков протекающей или протекавшей на небольшом расстоянии реки) солевые залежи обычно представлены пластом галита и сульфатными пластами. Вместе с этим смешение в котловинах озер глубинных вод с высоким содержанием ${\rm CaC1}_2$ и грунтовых вод, содержащих ${\rm MgSO}_4$, иногда ${\rm Na}_2{\rm SO}_4$ и даже ${\rm NaHCO}_3$ или ${\rm Na}_2{\rm CO}_3$, приводит к массовому накоплению в котловинах гипсово-карбонатных илов, а в их окрестностях — гипсовых и карбонатных кор и пухляков. Примером такого «столкновения» вод двух источников могут служить недавно существовавшие «сухие» озера Сары-Камышской впадины, в которых кроме пластов галита образовались пласты кашеобразного глауберита, или астраханита, а в окрестностях их — обширные поля гипсовых кор и пухляков.

В целом ознакомление с соляными озерами, расположенными в разных районах, показывает, что практически во всех случаях в питании каждого озера участвует несколько источников. Одни из них основные, другие — второстепенные. Соотношения между ними изменяются от озера к озеру и не остаются постоянными во времени: основные источники становятся второстепенными, а последние занимают их место. От этого разнообразия в условиях питания соляных озер даже одного района в значительной степени зависит и их многообразие.

0 проточности соляных озер

Проточность соляных озер относится к факторам, действие которых противоположно действию факторов, обеспечивающих процесс накопления солей в озерах.

Соляные озера принято разделять на проточные и конечные. Под проточными обычно подразумевают озера, проточные для грунтовых вод, отдающие часть рапы в отдельные периоды года в горизонт грунтовых вод. Под конечными соляными озерами подразумевают озера, расположенные в понижениях на участках с наиболее низким положением зеркала грунтовых вод, в результате чего поток грунтовых вод со всех сторон направлен к озеру и видимого оттока рапы в горизонт грунтовых вод не наблюдается. В озерах, проточных для грунтовых вод, как правило, происходит избирательное накопление солей определенного химического и минералогического состава. В конечных озерах концентрируются все поступающие в них соли и образуются солевые залежи, в состав которых входят все соли, выпадающие из рапы в соответствии с их растворимостью, по мере повышения их концентрации в рапе.

Следует отметить, что и конечные озера не являются полностью непроточными для подземных вод. Они также теряют часть рапы, отдавая ее в горизонт грунтовых вод. Однако эта потеря рапы происходит иначе, чем в проточных озерах. Опыты, проведенные М. Г. Валяшко и др. (1965) по изучению перемещения рассолов различной плотности в сосуде, заполненном песком, показали, что при наличии слоя рассола более высокой плотности над слоем рассола меньшей плотности происходит их неравномерное перемешивание и струйное перемещение более тяжелого рассола вниз, а более легкого вверх. Эти опыты в какой-то мере моделировали процессы поступления в озеро сравнительно слабо минерализованных подземных вод снизу, через «окна» в солевой залежи, и опускание навстречу им более плотной и тяжелой рапы озера в горизонт подземных вод. Шлейфы более минерализованных подземных вод относительно вод водоносного горизонта встречаются как ниже озера по потоку грунтовых вод, так и под некоторыми соляными озерами.

Разумеется, потеря рапы конечными озерами в количественном отношении значительно меньше потери ее проточными соляными озерами.

Сток рапы в горизонт грунтовых вод из проточных соляных озер большей частью происходит в осеннее и особенно в весеннее время года, иногда зимой и значительно реже летом, при подъемах ее уровня в озере. Он осуществляется путем перелива или просачивания через самые верхние слои и участки соровой полосы, по своему положению наименее заиленные и поэтому обладающие наибольшей фильтрующей способностью. Наблюдения, проводившиеся на «сухих» соляных озерах Джаксы-Клычского месторождения в 1947—1950 гг. и в 1955—1957 гг., показали, что основной сток рапы из этих озер происходит в холодное время года, когда в появляющейся на озерах поверхностной рапе и в межкристальной рапе из верхних слоев солевой залежи

содержатся в основном хлориды натрия и магния, так как в это время года сульфатные соли выпадают в виде мирабилита и рапа практически обессульфачена.

Такой избирательный вынос способствует накоплению в рапе и солевой залежи озера сульфатных солей. В том случае, если привнос в озеро хлоридов превышает их вынос, в нем продолжает накапливаться хлорид натрия и пласт галита, если он имеется, увеличивается в мощности. Если вынос хлоридов превышает их привнос, мошность пласта галита уменьшается.

Как показывают наблюдения за озерами в разных районах и сопоставления озер одного района, находящихся на разных стадиях развития, их проточность или конечность, а следовательно, направление и характер их развития на данном этапе не остаются неизменными. Конечные соляные озера иногда превращаются в проточные, а последние — в конечные, даже без заметных изменений климата — в зависимости от изменения режима грунтовых вод, повышения или понижения их уровня, связанного с изменениями их местного базиса эрозии. Понижение уровня грунтовых вод может вызвать увеличение проточности озер, а его повышение — увеличение количества конечных озер и усиление процесса накопления в них солей.

Скорость изменения состава рапы и солевых залежей

Исследование соляных озер, расположенных в разных районах и находящихся в различных условиях, показывает, что одни из них длительное время остаются почти неизменными, другие изменяются за немногие годы, превращаются из рапных в «сухие», и наоборот.

По мнению О. Д. Кашкарова (1956), в соляных озерах без садки солей состав рассола не претерпевает заметных изменений в течение длительного, измеряемого сотней лет периода; в озерах же с происходящей садкой солей пути кристаллизации на диаграмме равновесий в течение аналогичного периода остаются постоянными. Эти выводы основываются О. Д. Кашкаровым на результатах многолетних наблюдений за озерами Яровым, Кулундинским, Бол. Мормышанским, Кучуком, Эльтоном и др. В то же время имеются многочисленные свидетельства существенных изменений состава рапы и особенно солевых залежей, происходящих за очень короткое время. Это относится, например, к заливу Кара-Богаз-Гол. Примером озера с кратковременными изменениями являются «сухие» озера Ащиколь и Тузколь, описанные М. Г. Валяшко (1952). При посещении этих озер в 1955 г. нами было обнаружено, что оба они снова оказались обводненными. Содержание солей в воде оз. Ащиколь не превышало 1 г/л, в воде оз. Тузколь - 2 г/л. Неоднократные изменения наблюдались и на оз. Аж-булат в Павлодарской области.

Представляют интерес изменения в «сухих» соляных озерах в Северном Прикаспии, расположенных вдоль линии железной дороги от ст. Искине до ст. Макат. Здесь И. Н. Лепешковым и М. Г. Ва-

пяшко в 1932—1933 гг. (1946) обнаружено, что во многих крупных озерах данного района залегает пласт галита, под ним слой эпсомита, а в отдельных озерах пласт астраханита. Этот район был повторно обследован с участием автора в 1954 г. (1959). Эпсомит в солевых залежах сохранился в виде незначительной примеси в единичных озерах. Почти во всех озерах под галитом залегает пласт астраханита, при этом во многих верхняя часть пласта астраханита (а иногда и весь пласт) замещена пластом тенардита мощностью от 0,1 до 0,6 м.

На Джаксы-Клычском месторождении наблюдения за изменениями в солевых залежах «сухих» соляных озер проводились с 1945

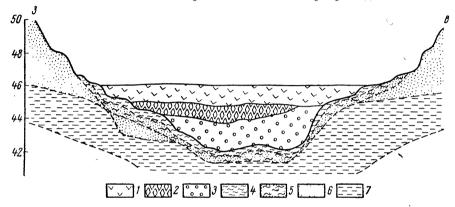


Рис. 14. Разрез галитового оз. Восточного 3 — галит, 2 — астраханит; 3 — мирабилит 4 — ил; 5 — илистый песон; 6 — песон; 7 — суплинки, глины.

по 1957 г. Они сопровождались повторной проходкой скважин и фов на ранее изучавшихся озерах. Здесь было установлено, что на многих «сухих» озерах, заключающих пласт галита и под ним сульфатный пласт, представленный астраханитом, мирабилитом и иногда эпсомитом, мошность пласта галита постепенно уменьшается. Так, на оз. Восточном (рис. 14) только за 3 года мощность его уменьшилась на 9 см, на оз. 27г за 5 лет на 12 см, на оз. 12г за 4 года (в разных частях озера) на 10-20 см, на оз. 25г за 5 лет на 17 см, В те же годы на других озерах месторождения происходило увеличение мощности пласта галита. На оз. 18г его мощность за 3 года увеличилась на 8 см. Пласт галита, особенно там, где мощность его была небольшой (оз. 12г, 25г, 27ги др.) и не превышала 0,8-1,2м, становился более рыхлым, загрязненным илом. Между пластом галита и сульфатным пластом стал обнаруживаться прослой кашеобразного глауберита и ила, в наибольшем количестве на тех участках, где пласт галита подстилается пластом астраханита. Затем стали появляться кристаллы, после них линзы, а на некоторых озерах и слой тенардита мощностью 10-40 см.

На оз. 25г под слоем галита залегали слой мирабилита и прослой астраханита между ними. Здесь в 1950 г. в трех скважинах между

галитом и астраханитом были встречены линзы тенардита мощностью 20-30 см. В остальных скважинах были обнаружены только отдельные кристаллы последнего. На части озера астраханит и тенардит отсутствовали. В 1955 г. уже по всему озеру залегал пласт тенардита мощностью до 45 см (средней мощностью 33 см). В 1956 г. большая часть этого пласта была выработана. Слой тенардита образовался на оз. 12г, линзы его появились на оз. 27г. Интересны изменения, происшедшие на оз. Иг. Ранее это озеро было известно под названием «Грязное». Пробуренными в 1932 г. двумя скважинами (Клебанов, 1937) было отмечено наличие пласта галита мощностью 70 см, а под ним пласта астраханита такой же мощности. В 1947 г. разведочными

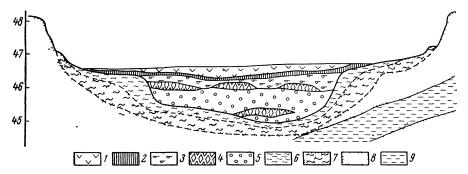


Рис. 15. Разрез тенардито-мирабилитового оз. 125 (западная часть, 1948 г.). 1 — галит; 2 — глауберит с илом; 3 — тенардит, 4 — астраханит; 5 — мирабилит; 6 — ил, 7 — заиленный песок; 8 — песок; 9 — суглинки, глины.

скважинами был вскрыт пласт галита мощностью 40-50 см, плотный, с большим количеством «окон», заполненных его рыхлой новосадкой. Под галитом местами залегал невыдержанный прослой глауберита мощностью до 10 см. Под глауберитом и реже прямо под галитом залегал пласт тенардита мощностью от 10 до 50 см.

В западной части оз. 125 (рис. 15) в 1948 г. бурением был установлен слой галита мощностью 20-30 см. Под ним обнаружены линзы чистого тенардита и с примесью астраханита мощностью до 30 см. Ниже залегали крупные линзы астраханита, а под ними пласт мирабилита. Местами под галитом залегал непосредственно пласт мирабилита. В 1955 г. при повторном бурении скважин от слоя галита сохранилась только корочка толщиной в несколько миллиметров. Его место занимал слой кашеобразного глауберита с илом и гипсом мощностью 6-10 см, местами превратившийся в бугристую гипсовомирабилитовую корку. Под этим слоем на всей площади залегал пласт тенардита мощностью 30-40 см. Астраханит сохранился только местами в виде линз мощностью 10-20 см. Ниже лежал пласт мирабилита, в верхних слоях которого было встречено много кристаллов астраханита. В тех местах, где мирабилит залегал непосредственно под слоем галита или глауберита, в 1955 г. также появился

слой тенардита, но меньшей мощности, чем в местах залегания астраханита на мирабилите (рис. 16).

Аналогичная картина была прослежена и на многих других озерах месторождения, что свидетельствует об общем направлении процесса изменения их солевых залежей. Такие изменения отсутствовали (или не были замечены) только на озерах, которые в этом районе являлись конечными для грунтовых вод. На них отмечалось только увеличение мощности пласта галита, а в Южном бассейне и увеличение количества магнезиальных солей. Направление этих изменений в других условиях может быть и обратным. Такие условия, например, создавались в некоторых эксплуатируемых мирабилитовых озерах месторождения после углубления в результате эксплуатации центральных частей солевых залежей озер на 0,5-0,8 м. В этой своеобразной

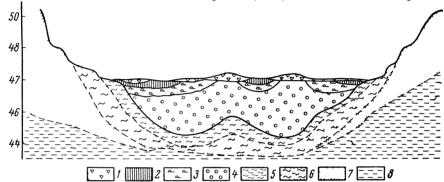


Рис. 16. Разрез тенардито-мирабилитового оз. 125 (восточная часть; 1955 г.). 1— нагар; 2— глауберит; 3— тенардит; 4— мирабилит; 5— ил; 6— заиленный песок; 7— песок; 8— суглинки, глины.

«ванне», образовавшейся в пласте мирабилита, зимне-весенняя поверхностная рапа сохранялась дольше, чем на галитовых озерах. Здесь на поверхности пласта мирабилита под рапой ежегодно образовывался слой тенардита (от 2 до 10 см), в котором отмечалось повышенное по сравнению с пластом мирабилита содержание NaCl и ${\rm MgSO_4}$. После того, как рапа в «ваннах» стала сохраняться все лето, в них кроме слоя тенардита стал образовываться и слой галита. По-видимому, такие изменения были связаны с уменьшением проточности центральных частей этих озер.

Характерно, что межкристальная и поверхностная рапы «сухих» соляных озер месторождения за время наблюдений испытывали меньшие изменения, чем солевые залежи озер. Наименьшими они были на галитовых озерах, наибольшими — в тенардитовых, в которых нередко отмечалось увеличение в рапе содержания сульфатов и уменьшение иона магния. В некоторых озерах рапа из преимущественно хлор-магниевой переходила в преимущественно сульфатно-натриевую. Изменения состава рапы обратного порядка наблюдались на выработанных мирабилитовых озерах.

Данные об изменениях в составе рапы и солевых залежей озер в разных районах показывают, что они зависят от условий питания этих озер и что их скорость резко увеличивается с изменением указанных условий. Изменения в соляных озерах в большой степени зависят и от изменения климатических условий района. Однако вековые (или более длительные) изменения климата, приводящие к труднообратимым изменениям состава рапы и солевых залежей, протекают настолько медленно, что непосредственными наблюдениями они, как правило, не улавливаются.

На скорость изменения состава рапы и солевых залежей озер оказывает сильное влияние минерализация питающих вод. При незначительном содержании солей в грунтовых водах Кулундинской степи, часто составляющем всего 1-3, реже 5-10 г/л, процессы накопления солей, а следовательно, и изменений протекают медленно. В низовьях р. Чу, в Приаралье и других районах, где минерализация грунтовых вод часто достигает 40-60 г/л и быстро возрастает за счет испарения этих вод, изменения происходят во много раз скорее. И все же при стабильных источниках питания изменения состава рапы и даже солевых залежей происходят сравнительно медленно - в течение десятилетий. Они резко ускоряются при изменении условий питания, повышении или понижении уровня грунтовых вод, уровня моря, отступании реки и т. п. Очень часто это увеличение скорости изменения состояния озера прямо или косвенно связано с деятельностью человека - с сооружением плотин, каналов, разбором вод реки на орошение, мероприятиями по ирригации и мелиорации.

Глава V

О НАПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЯ ОЗЕРА

Соляные озера, таким образом, не остаются неизменными, а постепенно или в сравнительно короткие промежутки времени (иногда исчисляющиеся десятилетиями и даже годами) проходят через различные стадии развития, характеризующиеся разными концентрацией и составом рапы, строением и составом солевых залежей, соотношениями между жидкой и твердой фазами. Эти стадии и их смена происходят в определенной последовательности.

М. Г. Валяшко (1962) в развитии соляного бассейна различает: стадию подготовительную, характеризующуюся постепенным повышением минерализации воды бассейна и накоплением в нем возрастающих запасов солей, и стадию самосадочного бассейна, наступающую с момента достижения водой бассейна (рапой) насыщения одним из периодических минералов и выпадением его в осадок. Изменение состава воды бассейна в первую стадию он связывает главным образом с процессами метаморфизации. На второй стадии, по его мнению, главенствующую роль в изменении состава рапы бассейна играют процессы циклические и периодические. На этой стадии также происходит метаморфизация, но ее роль в изменении состава рапы невелика.

В развивающихся самосадочных бассейнах М. Г. Валяшко предлагает различать две стадии: рапных и «сухих» самосадочных бассейнов. Первая стадия характеризуется тем, что объем жидкой фазы (рассола) в бассейнах заметно больше объема твердых озерных осадков. В течение всего времени в бассейне присутствует достаточный слой поверхностной рапы. Вторая сталия характеризуется тем, что объем жидкой фазы (рассола) в бассейне близок к объему твердых соляных отложений. В летнее время слой поверхностной рапы исчезает, уходя в донные отложения. По мнению М. Г. Валяшко, именно этот исчезающий летом слой поверхностной рапы определяет развитие процессов во всей толше отложений за счет испарения с поверхности и конвекционных токов рапы, сконцентрированной в результате испарения, вниз, а более легкой рапы — вверх. В стадию сухого бассейна из рапы выделяются соли в соответствии с нормальным ходом кристаллизации, но отлагаются они не над ранее выделившимися солями, а между ними или под ними, или вместо промежуточных минералов. Этим он объясняет образование аномально или обратно стратифицированных отложений солей. Процесс этот чрезвычайно замедлен.

Наряду с накоплением в соляных озерах легкорастворимых солей в них осаждаются и труднорастворимые соединения, являющиеся продуктами реакций метаморфизации воды и рассолов. М. Г. Валяшко (1952) предложил схему, согласно которой при усыхании метаморфизация ведет к потере раствором ионов CO_3 ' и SO_4 ' и озера переходят из карбонатного в сульфатный, а из сульфатного в хлоридный типы. При увлажнении климата процесс идет в обратном направлении. Эти превращения происходят под влиянием климата и среды.

- Е. В. Посохов (1968) считает, что эволюция соляных озер не может идти по этой схеме. По его концепции, гидрохимические типы озер всецело определяются условиями их питания и что их нельзя рассматривать как отдельные стадии процесса метаморфизации озерной рапы. Как отмечалось, им было выделено 5 типов соленакопления. По его представлению, в любом районе, характеризующемся физикогеографическими и геологическими особенностями, распространены озера определенного типа. Он признает, «что за период существования озера в составе его солевой массы происходят существенные изменения, но гидрохимический тип озера чаще всего сохраняется».
- Н. М. Страхов (1962), принимая в основном предложенные М. Г. Валяшко стадии развития озерного бассейна от пресного к рапному и далее к превращению его в сухое и, наконец, в подпесочное озеро, считает, что предложенную им схему эволюции озера от пресного до подпесочного следует рассматривать лишь как идеальную, реализующуюся не всегда полностью. По его мнению, разные озера проходят этот путь развития с неодинаковой быстротой, что является одной из причин большого разнообразия морфологии современных континентальных озер засушливой зоны. Он указывает, что история развития любого водоема аридной зоны есть не просто история его осолонения, но одновременно и история его метаморфизации. Он

разделяет введенное М. Г. Валяшко понятие о прямой и обратной метаморфизации рассола.

По нашему мнению, выделенные М. Г. Валяшко (1962) стадии развития соляного бассейна — подготовительная, рапного и сухого самосадочного бассейна — полностью охватывают общий путь развития озера от пресноводного водоема до сухого и подпесочного озера в аридной зоне. Одновременно с этим, учитывая многообразие физикогеографических условий и условий питания озер, следует подчеркнуть, что как длительность этих стадий, так и характер развития в них озер колеблются в широких пределах, а поступательное развитие многих соляных озер может сменяться и временными их отступаниями и развитием в обратном направлении. Продолжительность подготовительного периода в жизни озера зависит от испарительных возможностей района и от условий питания, точнее степени минерализации вод, поступающих в озеро. Более минерализованные воды чаще характерны для более засушливых районов, что еще больше способствует сокращению сроков подготовительной стадии.

Примерно то же самое можно сказать о стадии самосадочного бассейна, особенно сухого, которая в условиях засушливого климата и питания озера в основном за счет грунтовых вод по длительности может не уступать подготовительной стадии.

В приведенной М. Г. Валяшко (1962) характеристике стадий рапного и «сухого» бассейнов некоторое сомнение вызывают положения о нормальном порядке кристаллизации солей в рапном бассейне и аномальном разрезе соляных отложений в «сухом» бассейне, которые как бы противопоставляются друг другу. Несколько преувеличено, по нашему мнению, значение исчезающего летом слоя поверхностной рапы в развитии процессов в толще солей «сухого» озера и конвекционных токов рапы, сконцентрированной в результате испарения с поверхности. Кстати, полученная на Индере величина испарения 5,6 мм не соответствует летнему понижению уровня рапы в этом озере на 8-10 см.

Конвекционные токи рапы, сконцентрированной испарением и опускающейся вниз, несомненно, существуют, но глубина опускания их не может быть очень большой, выходящей за пределы нижней границы пласта галита: ведь плотность рапы в сульфатных пластах, подстилающих пласт галита, значительно выше плотности рапы в поверхностных слоях пласта галита. Это было подтверждено исследованиями, проведенными в 1955—1957 гг. в Приаралье. Соотношение плотностей растворов различных солей одинаковой концентраций приведено на рис. 17.

По поводу причин аномальной стратификации отложений солей в «сухих» озерах необходимо сделать следующее замечание. По-видимому, образование вкрапленных сульфатных минералов в нижних слоях пласта галита или даже небольших прослоев их под пластом галита за счет уплотнения слоя ила (хотя в большинстве соляных озер он имеет полужидкую консистенцию, а нижняя часть его представлена илистым песком, не способным к значительному уплотнению),

обязанное конвекционным токам рапы, действительно реально, как и образование прослоев стабильных минералов на месте промежуточных. Однако часто встречаются «сухие» соляные озера, в которых мощность сульфатных пластов различного состава равна мощности покрывающего их пласта галита или значительно ее превышает. Так, на Джаксы-Клычском месторождении в Восточном, 19г, 18г,

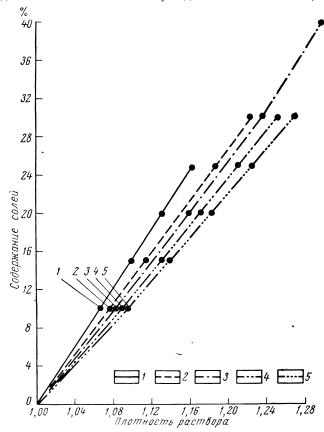


 Рис.
 17.
 График
 зависимости плотности раствора от состава солей.

 1 — растворы NaCl;
 2 — растворы MgCl;
 3 — растворы смеси NaCl и MgSO4 (1:1);
 4 — растворы Na₂SO₄;
 5 — растворы MgSO₄.

25г и других галитовых озерах мощность солевой залежи достигает 4-6 м. При этом мощность пласта галита (по скважинам) колеблется соответственно: от 0,55 до 1,67; от 0,66 до 1,50; от 0,60 до 2,20 и от 0,4 до 0,8 м, а мощность сульфатного пласта от 0,33 до 4,19; от 0,12 до 3,35; от 0,4 до 3,45 и от 0,8 до 3,3 м. В среднем она в 1,5-2 раза превышает мощность пласта галита, а мощность подстилающего солевую залежь слоя ила (кстати, часто полужидкого) составляет всего 0,2-0,3, редко 0,4 м.

В оз. Восточном под пластом галита залегает пласт астраханита мощностью от 0,15 до 1,3 м, а под ним - пласт мирабилита мощностью от 0,1 до 3,7 м. В южной части озера на пласте астраханита встречен слой тенардита мощностью 0,05-0,25 м, Между галитом астраханитом имеется невыдержанный прослой кашеобразного глауберита.

В оз. 18г под пластом галита залегает пласт астраханита мощностью от 0,15 до 2,35 м, а под ним - пласт мирабилита мощностью от 0,25 до 2,4 м, отсутствующий в северной части озера, где его место занимает слой эпсомита мощностью 0,2-0,4 м. Линзы эпсомита нередко разделяют пласты астраханита и мирабилита.

Различные соотношения мощностей и состава солевых залежей соляных озер и определенные закономерности чередования слоев разного минералогического состава показывают, что причины аномальной стратификации соляных отложений в соляных озерах не исчерпываются приведенными М. Г. Валяшко (1962). Во многих случаях имеет место прямое выпадение в осадок из рапы рапных озер мирабилита и эпсомита до выпадения в осадок галита.

Следует также остановиться на роли метаморфизации рапы в развитии соляных озер. Эволюцию этих озер определяют понятия о процессах соленакопления и метаморфизации. Оба эти процесса тесно связаны между собой, действие их происходит одновременно. Однако протекают они с разной скоростью и интенсивностью, несовпадение которой на разных стадиях жизни озера в значительной степени предопределяет разнообразие соляных озер как по гидрохимическим типам, так по составу и состоянию рапы в их соляных отложениях. С точки зрения процесса накопления солей эволюция озера заключается в постепенном увеличении солей в его рапе, повышении ее минерализации, достижении ею насыщения, садки из нее солей. С точки зрения процесса метаморфизации эволюция озера заключается в переходе его рапы от карбонатного к сульфатному и далее к хлоридному гидрохимическому типу.

Выделенные М. Г. Валяшко стадии развития озерного бассейна, как и направления процессов метаморфизации рапы озер наиболее правильно отражают общие пути развития соляных озер.

Ознакомление с типичными представителями галитовых озер Северо-Восточного Приаралья показывает, что большая группа «сухих» галитовых озер, отличающихся строением и составом солевых залежей, составляет как бы ряд, в котором соседние представители почти не отличаются друг от друга, а крайние члены ряда резко различны (Гроховский, 1953, 1959, 1963).

На нескольких галитовых озерах пласт галита не отделяется от сульфатного пласта: в средней части его появляются кристаллы эпсомита, количество которых вниз постепенно увеличивается с одновременным уменьшением количества кристаллов галита. На части озер пласт галита отчетливо отделяется от сульфатного пласта, но в последнем наблюдается уменьшение содержания астраханита вниз по пласту, а эпсомита вверх по нему, без обособления их в слои. В других

озерах в составе сульфатного пласта выделяются в разной степени обособленные слои астраханита, эпсомита, мирабилита. Таким образом, все эти озера можно расположить в ряд, в котором размещаются озера со все большей степенью обособления, сначала пласта галита, а затем пластов астраханита, эпсомита. На примере этого ряда по существу можно проследить отдельные стадии изменения солевых залежей, происходящие уже в «сухих» соляных озерах: от озер со смешанным составом солевой залежи к озерам, в которых обособились сначала пласт галита и сульфатный пласт, а затем в последнем слои эпсомита и астраханита. Вероятно, в озерах, где эпсомита было сравнительно немного, появление его в нижних слоях пласта галита было связано с выпадением кристаллов его между кристаллами галита из опускавшейся вниз более плотной рапы, обогащенной сульфатом магния, как это предполагалось М. Г. Валяшко (1962). Таким путем, возможно, возникали небольшие слои эпсомита под галитом. Что касается относительно мощных слоев эпсомита, то более очевидным представляется выпадение из рапы сульфатов магния в виде эпсомита или в виде MgSO, *12H, О в холодное время года. Не исключена возможность и выпадения смешанной соли - эпсомита с галитом - с последующей их дифференциацией.

На продолжении этого ряда располагаются озера с астраханитомирабилитовым составом сульфатного пласта, залегающего под пластом галита. К этой группе относятся озера 18г, 19г, Восточное. При этом в оз. 18г под астраханитом еще наблюдается слой эпсомита, залегающий на пласте мирабилита или непосредственно на слое ила. В оз. 19г встречаются только незначительные линзы или кристаллы эпсомита, а в оз. Восточном эпсомит почти не отмечен. В оз. 20г и оз. 27г сульфатный пласт почти полностью представлен астраханитом; линзы мирабилита под ним незначительны. В оз. Восточном и оз. 27г между пластами галита и астраханита встречены линзы тенардита и глауберита, а в оз. 19г — невыдержанный прослой глауберита. При повторном бурении скважин обнаружено, что прослои тенардита в оз. Восточном и в оз. 27г увеличили свою мощность и площадь распространения, а кристаллы тенардита встречены по всему озеру. Появились они и в оз. 19г.

На дальнейшем продолжении ряда можно поместить галитовые озера 12г и 25г, в которых мощность пласта галита меньше, чем в предыдущих озерах, а под галитом почти повсюду залегает слой тенардита. При этом в оз. 12г еще имеется пласт астраханита, разделяющий слой тенардита и пласт мирабилита, а в оз. 25г от него сохранились только отдельные линзы. Эти озера занимают переходное место между галитовыми и тенардитовыми озерами, крайние представители которых также имеют слой галита небольшой мощности. В озерах 24г, 11г и 130, относимых уже к тенардитовым, также представлен пласт галита небольшой мощности — редко 0.5 м, чаще 0.4–0.3 м. Скважинами редкие линзы астраханита под тенардитом были встречены лишь в оз. 24г; в озерах 11г и 130 они вскрыты только при эксплуатации в краевых частях залежи.

Центральные части ряда тенардитовых озер может характеризовать оз. 125 около 6 км длиной и от 0,4 до 1 км шириной. Условия питания отдельных частей этого озера неодинаковы: в его западной части имелся слой галита мошностью 0,3 м, в северной - только небольшая корка последнего; в восточной же части (см. рис. 16) галит отсутствовал вовсе; поверхность озера здесь была покрыта слоем ила и глауберита, а на отдельных участках - мощной гипсовомирабилитовой коркой (см. рис. 15 и 16). В западной части озера под галитом залегал слой глауберита и ила, под ним - слой тенардита, ниже - линзы астраханита и пласт мирабилита; в северной его части под коркой галита залегал несколько уплотненный слой ила и глауберита, под ним слой тенардита и пласт мирабилита, в верхнем слое которого встречались кристаллы и мелкие линзы астраханита. В восточной части озера под сильно уплотненным слоем ила и глауберита, а местами под мощной (до 30-40 см) бугристой гипсово-мирабилитовой коркой залегал пласт тенардита, более плотный, чем в западной части, а под ним пласт мирабилита. Как можно видеть, аналогом западной части оз. 125 могло бы стать оз. 11г или оз. 130, аналогом северной части - оз. 129, а восточной части - оз. 8т, с такой же мощной коркой и таким же пластом тенардита.

Продолжение этого ряда находится уже в группе мирабилитовых озер, среди которых выделяются озера с покрытием пласта мирабилита мощной гипсово-мирабилитовой коркой. Наиболее типичные представители этой группы — озера 117, 121, 122. В них под упомянутой коркой залегает пласт мирабилита, а между ними иногда встречаются невыдержанный прослой глауберита с илом, кристаллы тенардита, иногда кристаллы астраханита, а на оз. 117 имеются и линзы астраханита. Вторая, более далекая от тенардитовых озер, группа мирабилитовых озер заключает пласт мирабилита, покрытый сверху слоем порошкообразного нагара.

Этот длинный ряд, для которого можно подобрать весьма большое количество и других озер, в какой-то мере характеризует пути развития «сухого» соляного озера: сначала по восходящей, т. е. в направлении накопления солей, а затем по нисходящей, по линии избирательного сохранения или образования тех или иных пластов солей и постепенные потери их озером за счет выноса в горизонт грунтовых вод или выдувания ветром (например, нагара мирабилита).

Определенная закономерность такого расположения «сухих» соляных озер в приведенном ряду подтверждается наблюдениями за их состоянием, показавшими, что происходящие в них изменения приводят к перемещению их по ряду в том или ином направлении (рис. 18).

Еще в стадию подготовительного бассейна закладываются различия в составе рапы и твердых отложений разных озер, проявляющиеся как на стадии рапного, так и на стадии «сухого» озера. Различия эти обусловлены воздействием на соляное озеро многих факторов с различными направлениями их действия. К ним относятся условия, питания озера, в том числе соотношение поверхностных и подземных, грунтовых и напорных вод, их химический состав и минерализация.

Большое значение имеет проточность озера для грунтовых вод. На развитие озера влияют состав пород, слагающих его бассейн, степень их засоленности, характер выветривания, способность к катионному обмену; почвенный покров и происходящие в нем процессы; растительность, характер рельефа и гидрографической сети; размеры, форма, строение берегов самого озера; глубина образовавшейся в нем рапы и др.

Наблюдения за садкой и растворением новосадки в неглубоких рапных самосадочных озерах при низкой концентрации солей в водах, питающих озеро, приводят к выводу, что летняя, а тем более зимняя

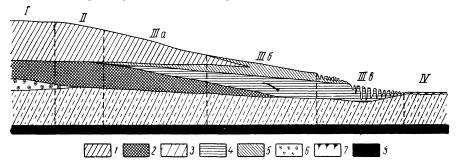


Рис. 18. Схема стадий изменения «сухих» соляных озер.

1 — галит, 2 — астраханит; 3 — мирабилит; 4 — тенардит; 5 — глауберит с илом; 6 — эпсомит; 7 — «нагар» с гипсом; 8 — ил.

I — галитовое озеро; мощность пласта галита не изменяется или увеличивается; мощность пласта астраханита увеличивается за счет эпсомита; II — галитовое озеро становится проточным для грунтовых вод; мощность галита уменьшается, аграханита увеличивается за счет эпсомита и мирабилита; появляется прослой глауберита; IIIа — озеро превращается в тенарщитовое; мощность галита резко уменьшается; появляется и увеличивается в мощности пласт тенардита за счет астраханита; III6 — тенардитовое озеро; полностью исчезает галит; мощность глауберита с илом увеличивается, а затем уменьшается за счет уплотнения; мощность тенардита увеличивается за счет астраханита и мирабилита; IIIв — тенардитовое озеро; слой глауберита превращается в гипсово-мирабилитовую корку; разрушается пласт тенардита; IV — мирабилитовое озеро с пластом мирабилита, покрытым слоем «нагара», сильно загрявненного гипсом.

садка солей в годичном цикле полностью растворяются, и этот процесс без видимых результатов повторяется длительное время. Такой Однако имеются путь развития озер, несомненно, существует. соляные озера, в которых на отдельных участках слой рапы превышает 2-3, а иногда и 4-5 м. Это чаще характерно для крупных или протоковидных озер, образовавшихся на месте древних русел с углублениями на месте плесов или омутов, которые в районах с большим превышением испарения над осадками могут питаться и сильно минерализованными водами (40-60 г/л). В таких озерах накопление солей происходит значительно интенсивнее; в более короткие сроки рапа достигает насыщения легкорастворимыми солями, более значительна мощность новосадки; в большей степени ежегодно происходит пополнение рапы солями, выпадающими в виде новосадки. Мощность слоя новосадки зависит от содержания данной соли в рапе, от соотношения ее с другими солями и от мощности слоя рапы. Интенсивность выпадения мирабилита и в еще большей степени эпсомита

 ${
m MgSO_4*12H_2O}$ зависит от достижения рапой температур, близких к 0° и более низких. Для сульфатов магния существенную роль играют также интенсивное летнее испарение и минимальное количество осадков в осеннее и зимнее время.

При слое рапы в 3 м мощность новосадки мирабилита может составлять от 30 до 40 см; такой мощности в большинстве случаев достаточно для сохранения части этого слоя до следующего года. При этом необходимо учитывать, что при перемещениях рапы по озеру зимой с полувзвешенной в ней новосадкой мирабилита последняя оседает в основном в более глубоких местах, увеличивая в них слой данной соли. Увеличение мощности слоя мирабилита способствует его уплотнению, а следовательно, и уменьшению возможности его полного растворения. Такой путь образования на дне озер, в глубоких местах, слоя мирабилита представляется наиболее вероятным. Это подтверждается и характером размещения пласта мирабилита в «сухих» соляных озерах, где он, как правило, занимает наиболее глубокие участки, а на мелких прибрежных участках обычно отсутствует.

Так как выпадение эпсомита или ${\rm MgSO_4}^*12{\rm H_2O}$ возможно в основном в условиях холодной, но не дождливой осени и зимы, т. е. в условиях, благоприятных и для выпадения га лита летом и осенью, то наиболее вероятно выпадение смещанной соли. Несмотря на то, что растворимость ${\rm MgSO_4}$ с понижением температуры снижается значительно меньше, чем сульфата натрия, мощность слоя новосадки, представляющей садку галита с эпсомитом за счет повышения концентрации солей в рапе при испарении ее в летне-осенние месяцы и садку эпсомита за счет резкого похолодания осенью или зимой, может быть значительной.

В питании каждого соляного озера практически участвуют три основных источника: поверхностный сток, атмосферные осадки и подземный сток. В поверхностном стоке для некоторых озер выделяется речной сток, а в подземном - приток в них вод четвертичного водоносного горизонта (обычно грунтовых) и подземных вод третичного или более древнего водоносного горизонта, большей частью напорных. Количественные соотношения вод, поступающих в озеро за счет этих источников, могут быть самыми разными. Исследования условий питания некоторых озер, проведенные в последние годы, показали, что все они имеют несколько источников питания. Так, в оз. Теке в Кокчетавской области из общего поступления вод за год приходится на долю атмосферных осадков 61%, поверхностного стока 20%, подземного стока 19%. В оз. Кызыл-Как, расположенного в 60 км юго-восточнее, поступает: атмосферных осадков 56%, поверхностного стока 10%, подземного стока 34%. Из вод, поступающих в оз. Жалаулы, расположенное еще на 60 км к югу, приходится: на долю атмосферных осадков 46%, поверхностного стока 10%, подземного стока 44%.

Поступающие за счет этих источников воды, как правило, неодинаковы по концентрации и составу растворенных в них солей. Не-

редки случаи, когда источник, вносящий в озеро наименьшее количество воды, приносит наибольшее количество солей. Различен и состав солей, приносимых в озеро водами различных источников. Эти различия при смешении вод и рапы озер в пределах соровой полосы или в прибрежных отложениях в значительной степени определяют направление процессов метаморфизации и изменения состава рапы под воздействием испарения, так как именно ими определяется тот первоначальный состав рапы, изменение которого, подчиняясь совершенно определенным закономерностям, приводит к наблюдаемому разнообразию состава рапы и твердых солевых отложений. Следует отметить только, что смешение питающих озеро вод между собой и с рапой происходит в течение всего периода существования соляного озера.

Тенденция к повышению содержания в рапе тех или иных ионов, связанная с определенным соотношением вод из разных источников питания с различным содержанием этих ионов, постоянно поддерживается поступлением вод в примерно том же соотношении в течение периода концентрирования солей в рапе за счет испарения, несмотря на то, что часть указанных ионов может выводиться из рапы в труднорастворимые соединения процессами метаморфизации. Следовательно, еще в стадию подготовительного бассейна, до насыщения рапы озера той или другой легкорастворимой солью, происходит известная дифференциация состава рапы, предопределяющая возможность выпадения из нее определенной соли. При переходе рапного илового озера в рапное самосадочное в зависимости от состава рапы и соотношения в ней основных катионов и анионов может выпадать новосадка галита, мирабилита, реже галита с эпсомитом, еще реже эпсомита.

В озерах с небольшим слоем рапы (не более 0,5-1 м) выпадение и растворение новосадки продолжается в течение многих лет вследствие сравнительно небольшой массы рапы в озере, на которую сезонные изменения притока слабо минерализованных вод оказывают сильное разбавляющее действие. В таких озерах мощность слоя новосадки очень медленно, но постоянно, год от года, возрастает, достигая такой величины, когда весеннее разбавление рапы не может уже полностью растворить его. Озера подобного рода во множестве встречаются в районах засушливой зоны. Ввиду небольшого количества в них солей они занимают промежуточное положение между соляными озерами и сорами или топкими солончаками, полностью пересыхающими летом.

Соляные озера с пластами солей большей частью образуются из озер с мощным (до 2-5 м) слоем рапы или из больших по площади и мелководных озер, но располагающих одним или несколькими глубокими участками. В последних озерах образование пластов солей на дне происходит интенсивнее, чем в первых, поскольку при малой глубине возрастает прогрев рапы, а новосадка с мелководий или стаскивается перемещающейся рапой на более глубокие места, увеличивая в них мощность слоя соли, или просто растворяется, способствуя возрастанию общей минерализации рапы и сохранению слоя ново-

садки в глубоких местах. Большая масса рапы разбавляется сезонными притоками в значительно меньшей степени, что способствует увеличению мощности новосадки и накоплению более чистых солей. По нашему мнению, именно так образовались встречающиеся и в рапных, и «сухих» озерах мощные пласты мирабилита или эпсомита, или пласт мирабилита с залегающим на нем слоем эпсомита.

Особо следует остановиться на образовании новосадки астраханита. Появление ее в Кара-Богаз-Голе и других озерах подтвердило, что астраханит (как и галит, мирабилит, эпсомит) может образоваться за счет его выпадения непосредственно из рапы. Однако астраханит образуется в узких пределах соотношения концентраций ионов Mg, Na, $\mathfrak{N}_{2}^{\mathsf{I}\mathsf{I}}$, которые на диаграмме известны под названием астраханитового пятна. Судя по строению пластов солей во многих озерах, астраханит (при образовании им слоев или пластов) является минералом диагенетическим.

В озерах, сравнительно глубоких или с глубокими участками, галит редко выпадает первым. Это происходит в основном в озерах, где поступление сульфатных солей из одного источника питания уравновешивается поступлением в него вод, содержащих большое количество иона Ca^- , связывающего ион SO_4 ' в виде гипса. Чаще первым выпадает мирабилит, значительно реже — эпсомит. Следующим после мирабилита из рапы выпадает эпсомит, хотя и далеко не во всех озерах. Вслед за эпсомитом (а в озерах с пониженным содержанием в рапе иона Mg^- после мирабилита) выпадает галит. Нередко в его нижних слоях содержится значительная примесь эпсомита.

Переход озера из стадии рапного в стадию «сухого» происходит по-разному: он может быть постепенным, связанным с заполнением котловин солями; резким, кратковременным, связанным с изменением условий питания. Накопление отложений солей в озерах при постоянной цикличности происходящих в них процессов, в том числе и ежегодном выпадении и растворении новосадки, чаще всего носит скачкообразный характер, нередко связанный с многолетними периодами изменения климата. Поэтому и переход озера из рапного в «сухое», особенно в районах с неустойчивым климатом, иногда длительное время является обратимым: в засушливые годы оно является «сухим», в увлажненные годы уровень рапы в нем и летом остается высоким и оно возвращается в состояние рапного.

Переход рапного озера в «сухое» чаще всего происходит в процессе отложения в нем пласта галита. Практически сразу после осаждения солей начинается их перекристаллизация и преобразование.

Выпадение новосадки мирабилита происходит во всей толще рапы. Она большей частью представляет собой иголочки длиной 1-2 см, внутри которых заключена рапа, благодаря чему они могут длительное время находиться в полувзвешенном состоянии, легко перемещаться с рапой по озеру (удельный вес мирабилита значительно меньше, чем галита — 1,44-1,46) и опускаться на дно медленно. Слой новосадки на дне быстро уплотняется. По мере его уплотнения происходит перекристаллизация в мелко-, средне- и крупнокристал-

лический мирабилит. Рапа из кристаллов постепенно отжимается, слой уплотняется, нередко образуя слитную массу проросших кристаллов, иногда называемую стеклецом.

Переход озера в стадию «сухого» сопровождается усилением интенсивности процессов преобразования отложившихся в нем пластов солей. Этому способствует значительно большая теплопроводность галита по сравнению с теплопроводностью открытой рапы и, следовательно, больший прогрев летом пограничных слоев пласта галита и сульфатного пласта, представленного мирабилитом или эпсомитом. Данное обстоятельство подтверждено наблюдениями на Джаксы-Клычском месторождении в 1955-1957 гг. Благоприятным для перехода озера в стадию «сухого» является сравнительно небольшой объем рапы в озере и, в частности, в пласте галита по сравнению с ее объемом в рапном озере, что приводит к более быстрым, резким и широким изменениям ее состава и концентрации под воздействием внешней среды. Межкристальная рапа в пласте галита быстрее и легче прогревается летом и охлаждается зимой. Пористость пласта галита (учитывая, что большая часть его представлена гранаткой) составляет всего около трети объема пласта. Этот объем мал относительно объема рапы, но достаточен для свободной и сравнительно быстрой циркуляции ее в пласте. Так как объем рапы в пласте галита невелик, то, несмотря на уменьшение с его поверхности испарения по сравнению с испарением с поверхности открытой рапы в три раза, оно достаточно для быстрого образования в верхнем слое пласта галита под воздействием испарения высококонцентрированных и более тяжелых рассолов, чем рапа в средних слоях пласта, а также для возникновения энергичных струйных перемещений этих рассолов к его подошве при достаточной разности в плотностях для опускания этих рассолов до подошвы пласта галита и, вероятно, в верхние слои сульфатного пласта.

Разность в плотностях создается не только летом за счет испарения, но и зимой за счет охлаждения пласта галита и верхних слоев сульфатного пласта, где из-за более высокого содержания в рапе сульфатов, выпадающих при похолодании в виде мирабилита, а иногда эпсомита или двенадцативодного сульфата магния, плотность рапы резко понижается.

В то же время сравнительно низкая пористость пласта мирабилита по сравнению с пористостью пласта галита способствует тому, что процессы преобразования солевой залежи происходят наиболее интенсивно в нижних слоях галита и в верхних слоях сульфатного пласта. Прогрев и охлаждение верхних слоев сульфатного пласта и связанные с этим резкие колебания температур вызывают то усиленное растворение, то выпадение из раствора мирабилита или эпсомита, весьма благоприятное для образования астраханита. Насыщенность рапы основными компонентами астраханита, сравнительно быстрые изменения температуры, способствующие неоднократному прохождению раствора через наиболее благоприятное для его образования «астраханитовое пятно», приводят к возникновению именно

в этой части разреза солевой залежи пласта астраханита, растущего вниз и постепенно замещающего пласт мирабилита или эпсомита. Астраханит более интенсивно образуется за счет пласта или слоя эпсомита, чем за счет верхних слоев пласта мирабилита. Это вполне объяснимо, если учитывать значительно меньшую теплопроводность мирабилита по сравнению с теплопроводностью эпсомита, большую потерю тепла при растворении последнего, что позволяет процессу его преобразования в астраханит идти интенсивно только в его поверхностном слое. В слое же эпсомита в этом процессе может одновременно участвовать слой большой мощности. На это указывает, в частности, нахождение кристаллов астраханита в слое эпсомита почти по всей его мощности. Теплопроводность пласта астраханита лишь немного меньше теплопроводности галита, поэтому процесс его образования на глубину продолжается даже при большой мощности уже образовавшегося слоя. Известным пределом, по-видимому, является мощность астраханита 1-1,5 м.

Пласт астраханита, образующийся на границе пластов галита и мирабилита (или эпсомита) и постепенно замещающий последние, в «сухих» соляных озерах, как правило, является вторичным образованием и соответствует определенной стадии развития этих озер и преобразования их солевых залежей.

Пласт астраханита обычно имеет высокую пористость, но достаточно плотен, так как его поры имеют характер каналообразных, очень тонких пустот или более значительных полостей. Между плотным пластом астраханита и пластом мирабилита часто образуются заполненные рапой полости. Образование этих полостей связано с уменьшением объема, занимаемого астраханитом, по сравнению с объемом эпсомита и мирабилита. В связи с тем, что пласт астраханита обладает высокой плотностью и монолитностью, пустоты могут увеличиваться до значительных по площади размеров, а затем происходит обрушение пласта астраханита, затрагивающее и покрывающий его пласт галита, который также опускается на значительных площадях. Глубина этого опускания большей частью не превышает $5-10~{\rm cm}.$ Следы его можно часто видеть на озерах. Они проявляются в виде крупных трещин на поверхности галита, отличающихся от трещин и валиков полигональной отдельности, связанных с торошением новосадки, часто сопровождаются гребнями ила, выжатого на поверхность галита по трещинам, ширина которых может достигать $10-20 \ \text{cm}$ и более. Такие гребни чаще встречаются в прибрежных частях озер, там, где под пластом галита, еще продолжающемся к берегу, выклинивается пласт астраханита.

Дальнейшее развитие «сухого» соляного озера в этом направлении заключается в постепенном преобразовании слоев эпсомита и мирабилита в астраханит до их полного замещения последним. В результате сульфатный пласт будет представлен только астраханитом.

Однако такой путь развития озера не может продолжаться до бесконечности. Он может быть очень продолжительным в тех случаях, когда одновременно с накоплением солей в озере происходит посте-

пенное и медленное погружение его котловины, наблюдаемое чаще всего в зонах компенсации солянокупольных структур. Для большинства соляных озер длительное развитие в одном направлении возможно в редких случаях, а большей частью оно изменяется на обратное направление в зависимости от ряда факторов, воздействие которых не остается неизменным. Одним из таких факторов, в частности, являются грунтовые воды, положение уровня которых изменяется как в связи с многолетними и вековыми колебаниями климатаг так и в связи с геологическими и геоморфологическими факторами.

Эти изменения в первую очередь воздействуют на характер и степень проточности озера для грунтовых вод. Само накопление солей в озере способствует приближению уровня поверхности соли к критической точке, близ которой даже небольшое понижение уровня грунтовых вод в окрестностях озера в отдельные периоды года создает возможность перелива рапы через еще слабо заиленный верх соровой полосы в горизонт грунтовых вод. Чаще всего это бывает весной после таяния снега и обильных дождей, когда на озере имеется слой поверхностной рапы, насыщенной или близкой к насыщению NaCl и содержащей значительное количество MgCl_2 за счет растворения «пикоти» и выпадения из рапы мирабилита и обеднения ее сульфатами. Как отмечалось, изменения направления в развитии озера могут быть и очень медленными, незаметными в течение многих лет, и очень быстрыми, происходящими за немногие годы.

Постепенное и небольшое понижение уровня грунтовых вод, подобное наблюдавшемуся в Приаралье или в Прикаспии за последние десятилетия, привело к заметному изменению состояния солевых залежей многих соляных озер. Основываясь на наблюдениях в Северо-Восточном Приаралье, можно наметить следующую последовательность изменения состояния «сухих» соляных озер.

На одних галитовых озерах медленно, на других более быстро уменьшается мощность пласта галита. В озерах еще продолжается увеличение мощности пласта астраханита в основном за счет преобразования нижележащих пластов эпсомита или мирабилита. Уменьшение мощности пласта галита, как показали наблюдения за термическим режимом «сухих» соляных озер, вызывает усиление прогрева верхних слоев пласта астраханита. При мощности пласта галита около 1 м в летнее время температура поверхности пласта астраханита нагревается до 20-25° С. Дальнейшее уменьшение мощности галита приводит к еще более сильному нагреву астраханита. Этого достаточно, чтобы создались условия, благоприятные для образования тенардита, появление которого в твердой фазе при аналогичных составах растворов в лабораторных условиях было установлено при температуре 17,9°. Вторым условием образования тенардита в этой части солевой залежи является удаление из нее избыточного количества иона магния, препятствующего образованию тенардита. Этому способствует дифференциация рапы по составу, происходящая и летом, когда при испарении рапы более плотная сульфатная рапа опускается вниз,

и в еще большей степени зимой, когда вследствие сильного охлаждения верхних слоев пласта астраханита из рапы выпадает мирабилит и она становится почти бессульфатной, а относительное количество иона и хлорида магния в ней резко возрастает. Плотность такой рапы становится значительно ниже плотности рапы в пласте галита и она поднимается вверх, смешиваясь с поверхностной рапой и обогащая ее хлоридом магния. Весной именно эта рапа переливается через соровую полосу и поступает в горизонт грунтовых вод.

Пласт тенардита зарождается и образуется на поверхности пласта астраханита. Сначала появляются кристаллы, наблюдавшиеся при повторном бурении на озерах Восточном и 19г, затем постепенно появляется слой тенардита, замещающий верхний слой пласта астраханита и как бы врастающий в него в одних местах меньше, в других глубже. Мощность слоя тенардита довольно быстро увеличивается. За несколько лет, например, наблюдалось увеличение ее на 10-20 см и более (озера 12г, 25г, 11г и др.). В некоторых озерах за сравнительно короткий срок происходило полное замещение астраханита тенардитом. При таком замещении образуется как бы переходный слой, в котором много кристаллов тенардита, но еще немало и кристаллов астраханита. Хорошо заметны следы врастания первых во вторые. После полного замещения пласта астраханита тенардитом замещение пласта мирабилита, если он подстилает пласт астраханита, происходит заметно медленнее. Иной и характер замещения: оно обычно происходит в небольшом по мощности слое с четкой границей между мирабилитом и тенардитом.

Образованию тенардита в галитовых (и мирабилитовых) озерах почти во всех случаях предшествует появление между пластами галита и астраханита кашеобразного глауберита, образующего линзы и невыдержанные по мощности прослои. Этот глауберит представляет собой смесь тонкокристаллического глауберита (Na₂SO₄*CaSO₄) с тонкокристаллическим галитом, сульфатом магния, карбонатами кальция и магния, иногда гипсом. Такой прослой, отсутствовавший на оз. 19г в 1948 г., был обнаружен на нем в 1950 г., а в 1955 г. под ним, в верхнем слое астраханита по всему озеру появились кристаллы тенардита. По всем данным образование тенардита в определенной мере связано с появлением глауберитового прослоя и происходит при его участии, точнее при участии образующих его солей. Кашеобразный глауберит в виде гнезд нередко встречается и на мирабилитовых озерах, в которых образуется корка тенардита.

Нелепым представляется появление здесь в больших количествах и за сравнительно короткий срок бикарбонатов кальция и магния. Следует отметить, что содержание кальция в рапе и пласте галита, как правило, низкое; невысоко оно и в рапе сульфатного пласта.

В «сухих» озерах (в отличие от рапных), особенно таких, в которые поступает большое количество слабо минерализованных вод, несущих основную массу бикарбоната кальция, главными поставщиками указанных соединений могут быть поступающие в эти озера в основном весной поверхностные воды и поступающие в них круглый

год грунтовые воды, с неодинаковыми минерализацией и составом солей в разные сезоны года.

Наблюдения за многочисленными соляными озерами дают основание полагать, что поступление иона кальция на границу пластов галита и астраханита происходит в основной его части за счет грунтовых вод, через соровую полосу инфильтрующихся непосредственно в солевую залежь, особенно в пласт галита, учитывая его высокую пористость и рапопроницаемость по сравнению с подстилающими его пластами мирабилита и эпсомита, а в некоторой степени и астраханита. Минерализованная рапа с повышенным содержанием иона кальция и сульфат-иона донасыщается за счет растворения галита и, имея более высокую плотность, чем плотность рапы в средней и верхней частях пласта галита, перемещается к центральным частям озера по границе пластов галита и астраханита (соответственно по их нижним и верхним слоям). Здесь она включается в описанный круговорот ее вертикального перемещения в солевой залежи. Вероятно, часть иона кальция поступает сюда и сверху, с опускающимися летом вниз более плотными за счет испарения рассолами.

Большое количество химических анализов рапы «сухих» соляных озер показывает на весьма значительную изменчивость во времени и в разных частях и пластах их солевых залежей содержания иона кальция, бикарбонат-иона, сульфата кальция, бикарбонатов кальция и магния, на взаимные переходы сульфата и большей части бикарбоната кальция в бикарбонат магния и обратно. Все это свидетельствует о неустойчивости в этих условиях привычных нам труднорастворимых соединений и об активном участии в происходящих в этой части солевой залежи процессах иона кальция, то переходящего в раствор, то выпадающего из него. И это происходит на фоне сначала образования здесь астраханита, а затем преобразования его в тенардит. Создается впечатление, что пограничные слои галита и сульфатного пласта в «сухом» соляном озере являются местом, где наиболее интенсивно протекают процессы преобразования солевой залежи. Конечно, механизмы протекающих здесь процессов и стадии происходящих преобразований пока слабо изучены, но их основное направление и конечные результаты в настоящее время уже удается проследить, что дает основание для уверенности именно в таком ходе развития соляных озер. Очень интересными представляются исследования на Ажбулате и других озерах, проводившиеся М. Ф. Ляпуновым (1959) и А. Г. Василевской (1959), подтвердившие большое значение и особую роль глауберита в образовании тенардита на рапных озерах.

Возвращаясь к образованию пласта тенардита, необходимо отметить, что увеличение его мощности и замещение им пласта астраханита сопровождаются уменьшением мощности не только пласта астраханита, но и пласта галита, который становится все более рыхлым и загрязненным и нижние слои которого постепенно замещаются кашеобразным глауберитом и илом. Озеро из галитового превращается в тенардитовое или тенардито-мирабилитовое: вместо пласта галита остаются его небольшой слой, а затем и корка, под которой залегает

слой глауберита и ила, а ниже пласты тенардита и нередко мирабилита. К этому времени слой или пласт эпсомита в озере полностью исчезает. От астраханита остаются отдельные линзы. Соровая полоса сокращается; ею становится обнажившееся дно озера на прибрежных участках, где ранее вынесенный галит подстилался слоем ила, а прежняя соровая полоса, в пределах которой уровень грунтовых вод значительно понизился, постепенно зарастает солянковой растительностью. Слой ила и глауберита в озере уплотняется и уменьшается в мощности. Заметно проявляется его неравномерная мощность, на поверхности озера появляются повышенные и пониженные участки. Вследствие понижения уровня рапы на озере зимой и весной затопляются только пониженные участки поверхности. На ее повышенных участках за счет распада глауберита образуется мощная бугристая гипсово-мирабилитовая корка. В летнее время уровень рапы в озере опускается ниже поверхности пласта тенардита. Продолжающееся развитие в этом направлении приводит к постепенному разрушению пласта тенардита и превращению озера в мирабилитовое с мощной гипсово-мирабилитовой коркой. По-видимому, последняя также может разрушаться и выноситься за пределы озера - частично ветром, а частично в горизонт грунтовых вод. Этот процесс еще требует изучения, но подобные предположения можно основывать на том же частом изменении состава рапы озера в отношении содержания в нем бикарбонатов кальция и магния и сульфата кальция, что и изменение, наблюдавшееся в рапе галитовых озер. Кроме того, за это предположение говорит и наличие большого количества представителей переходных разностей озер от тенардито-мирабилитовых к бугристым мирабилитовым, а от них к мирабилитовым озерам, покрытым слоем нагара.

Приведенная схема изменения соляного озера и строения и состава солевой залежи (см. рис. 18) намечает общие пути его развития в прямом и обратном направлениях. Практически возможно почти на каждой стадии развития озера изменение направления, происходящее по различным причинам и приводящее к более сложному строению солевой залежи, аномалиям в условиях залегания отдельных пластов. Об этом же свидетельствует наличие на некоторых соляных озерах двух пластов галита и залегающих под каждым из них пластов астраханита (на оз. Чумыш-куль прослеживаются по крайней мере два цикла изменения в направлениях его развития).

Образование тенардита нередко может происходить и за счет пласта мирабилита в мирабилитовых озерах. Это может наблюдаться, например, при повышении уровня грунтовых вод и связанном с ним возрастании в рапе содержания хлорида натрия и иона магния, или при появлении на озере в холодное время года поверхностной рапы и исчезновении ее летом, когда поверхность пласта мирабилита нагревается до температур, достаточных для образования тенардита. На таких озерах появляется корка тенардита, которая затем может покрываться коркой или слоем галита. Это уже как бы возврат к прямому пути развития озера на одной из крайних стадий его регрессив-

ного развития, чем и объясняется специфичность минералообразования в нем.

Таким образом, нами рассмотрены данные о соляных озерах, их классификации и режиме; роли в питании озер поверхностных и подземных вод; проточности соляных озер; изменении в составе рапы и солевых залежах озер; влиянии различных факторов на процессы, протекающие в соляных озерах; основных направлениях в развитии соляных озер. Все эти вопросы освещены нами в очень краткой и схематичной форме, с допущением некоторых, пока недостаточно выясненных положений. Однако и приведенные факты и соображения показывают, что, с одной стороны, процессы в соляных озерах протекают по совершенно определенным физико-химическим законам и определяют развитие озер в определенных направлениях, с другой стороны, эти озера находятся под воздействием различных факторов внешней среды, чем в основном и объясняется их разнообразие.

Часть II

ИЗУЧЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ОЗЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛЕЙ

Глава І ПОИСКИ И РАЗВЕДКА

Озерные месторождения солей отличаются от месторождений других полезных ископаемых некоторыми специфическими особенностями.

- 1. Соляные озера являются, как правило, современными образованиями и представляют различные стадии процесса формирования месторождений солей, продолжающегося и в настоящее время.
- 2. Соли в соляных озерах находятся в жидкой или твердой фазе или в обеих этих фазах и могут переходить из одной фазы в другую.
- 3. Озерные месторождения подвержены воздействию внешней среды, причем очень чувствительны к ее изменениям. При изменениях климата, поверхностного стока, режима грунтовых вод и условий питания озера изменяются состав и концентрация солей в рапе, соли переходят из жидкой фазы в твердую или обратно; возможно и полное уничтожение озера.

С особенностями озерных месторождений солей связаны их разнообразие, значительная изменчивость во времени, сама возможность существования только в определенных условиях, что предопределяет необходимость в процессе поисков и разведки определять не только запасы солей и их качество, но и характер связи озера с внешней средой, его режим, стабильность его жидкой и твердой фаз.

Стадии геологоразведочных работ на озерные соли те же, что и при изучении других полезных ископаемых. Однако содержание, приемы и методы этих работ имеют специфический характер, связанный как со своеобразием соляных озер, заключающих жидкую и твердую фазы в разных соотношениях, к тому же изменяющихся во времени, так и с очень большим разнообразием представителей этих озер по размеру, режиму, составу и состоянию заключенных в них солей.

Поиски месторождений солей

Как известно, в поисковых работах выделяется несколько этапов. Различают предполевые камеральные, рекогносцировочные, предварительные и детальные поисковые работы.

Большая часть соляных озер, кроме озер, находящихся в очень труднодоступных районах, когда-то обследовалась для различных целей. Сведения об этих озерах имеются в кадастрах и других литературных источниках. Большое количество информации об озерах может быть получено посредством анализа топографических карт, аэрофотосъемочных материалов. В связи с этим полевым поисковым работам должна предшествовать камеральная обработка материалов, в результате которой определяются площади и объекты, подлежащие полевому обследованию.

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

Сбор фондовых материалов и литературы особых пояснений не требует. Сведения о соляных озерах целесообразно систематизировать в виде картотеки, а местоположение озер наносить на бланковую схему или мелкомасштабную карту.

Работа с картографическим материалом обычно заключается в просмотре топографических (сначала мелкомасштабных) карт, на которых выделяются площади, благоприятные для существования озер: равнинная или слабо всхолмленная местность с хорошо разработанными долинами рек и речек, с замкнутыми понижениями и котловинами, с сухими руслами и дельтами; прибрежные районы моря. По площадям, заслуживающим более подробного изучения, детально просматриваются топографические карты более крупных масштабов. На них выделяются и систематизируются объекты, подлежащие дальнейшей проверке и полевому обследованию. К ним могут относиться выделенные на картах озера, заболоченные участки и солончаки, особенно непроходимые, с которыми могут быть связаны «сухие» соляные озера; бессточные котловины, сухие дельты пересыхающих речек, к которым могут быть приурочены «подпесочные» озера. Особого внимания заслуживают озера с названиями, так как сведения о них могут быть получены и из литературных источников.

Работы с аэрофотосъемочными материалами прежних лет могут заключаться в сравнительно беглом просмотре фотопланов или фотосхем, перспективных для поисков территорий, и в дешифрировании и детальном изучении контактной печати — аэроснимков районов сосредоточения озер. Желательно применение стереоскопа (или других устройств) для получения стереоскопического эффекта. Аэрофотоматериалы позволяют более детально познакомиться с озерными котловинами и соляными озерами, различить детали строения солевой залежи «сухих» озер, особенно соровой полосы и прибрежных частей озера. На аэроснимках обычно хорошо различаются рапные и «сухие» озера. Признаки разновидностей озерных котловин, озер и деталей их строения в разных районах при различной их освещенности

и контрастности аэроснимков не совсем одинаковы. При этих условиях представляется целесообразным изучение аэрофотоматериалов начинать с района, озера в котором хорошо известны, охарактеризованы литературными данными и привязаны к топографической карте.

В качестве отправных положений для дешифрирования можно привести некоторые признаки. К корреляционным признакам, позволяющим опознавать объекты дешифрирования, относятся форма, размеры и тон изображения, теневые эффекты. В связи с тем, что соли большей частью обладают белым цветом и высокой отражательной способностью, поверхность «сухих» соляных озер на аэроснимках обычно выглядит в виде белых, нередко ярко белых пятен, более светлых, чем окружающая местность. Даже светло-серая поверхность некоторых озер большей частью светлее берегов озера. Рапные озера в зависимости от их глубины, цвета и отражающей способности дна могут выглядеть на аэроснимках почти черными, темно-серыми, серыми и в сравнительно редких случаях белыми. При этом по берегам их часто прослеживается светлая пляжевая полоса, в некоторых случаях окаймленная полосой белых или светлых зимних выбросов мирабилита, контрастирующих с темным или черным цветом рапы. При просмотре необходимо иметь в виду, что контрастность даже смежных аэроснимков может сильно разниться: на одних озера выглядят в виде однотонных белых или черных пятен, на других заметны более темные или более светлые детали поверхности.

Галитовые озера, в которых сверху залегает пласт галита, на аэроснимках выглядят белыми, однотонными; иногда заметна структура поверхности соли в виде многоугольников, ограниченных более темными трещинами или валиками галита. Белая поверхность солевой залежи резко ограничивается серой или темно-серой соровой полосой, разной ширины, но четко выраженной. По границе соровой полосы и берега обычно прослеживается белая полоска нагара, образовавшегося из выбросов мирабилита.

М и р а б и л и т о в ы е о з е р а покрыты нагаром или гипсовомирабилитовой бугристой коркой, на аэроснимках выглядят в первом случае ярко-белыми и во втором сероватыми. Граница солевой залежи с берегом часто нечеткая, переход от белого цвета солевой залежи к серому цвету берега постепенный, что связано с развеванием «нагара» ветрами и оседанием значительной части его на берегу озера. Цвет соровой полосы (там, где она имеется) серый, реже темно-серый.

Тенардито-мирабилитовые озера на аэроснимках могут быть похожими на галитовые или мирабилитовые озера. Однако цвет поверхности их обычно темнее за счет загрязнения галита илом и глауберитом. Нередко темные четкие полоски окаймляют белые участки, образуя многоугольники или ячейки. Такие озера очень похожи на соры с коркой галита. Еще большее сходство с сорами имеют озера, покрытые слоем ила и глауберита. Для них характерна своеобразная мозаика светло-серых и серых пятен с нерезкими очертаниями. Резкие контуры пятен чаще свидетельствуют об отсутствии пласта солей. Несмотря на то что большая часть таких озерных котловин оказывается сорами, их целесообразно намечать к проверке в поле, так как тенардитовые озера представляют большую ценность.

Соры и болотистые солончаки — чаще серые и темно-серые, реже светло-серые; на них отмечается чередование пятен и полос иногда причудливых очертаний; при наличии корки соли она разбита на многоугольники.

Такыры на аэроснимках при беглом просмотре выглядят похожими на соляные озера; они большей частью светло-серые и даже белые. Контуры их, как правило, резкие; полоска соровой полосы отсутствует.

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

Рекогносцировочные работы заключаются в обследовании перспективного для поисков района маршрутами на автомашине в сочетании с пешеходными маршрутами. В ходе этого обследования проверяются все объекты, намеченные камеральными работами. Основной задачей этого этапа является выделение соляных озер, перспективных для более детального изучения. Поэтому данные работы носят в основном проверочный характер. В качестве этапа, предшествующего наземному обследованию, иногда (особенно в труднодоступных районах) целесообразно применять аэровизуальные наблюдения с самолета, а в районах, трудно проходимых для автомашин (например, среди полузакрепленных песков или в сильно заболоченных 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, возможные транспортные пути. При небольшой высоте полета хорошо фиксируются не выявленные при просмотре аэроснимков детали строения озер. Пля полетов лучше использовать наиболее тихоходные типы самолетов, например ЯК-12 или АН-2, позволяющие использовать для посадки небольшие площадки. При этом необходимо учитывать, что такие посадки возможны только при высокой квалификации пилота и хорошем знании особенностей соляных озер и района: топкости соровой полосы, соров, вязкости такыров при намокании. Посадка на озера возможна только после тщательной проверки наличия на озере твердого и мощного пласта соли, мест расположения на нем промоин и «окон». Большие преимущества имеет вертолет.

Для проведения наземных маршрутов используются автомашины повышенной проходимости. При их использовании нередко необходимо брать с собой значительный запас воды и горючего и приспособления для преодоления труднопроходимых участков — массивов песков, соров, протоковидных понижений.

В удаленных от населенных пунктов районах на машинах оборудуются портативные рации. Совершенно обязательным является набор ареометров, термометров, бутылок, банок или полиэтиленовых емкостей для проб рапы и солей, щупов и пробоотборников. Для преодоления топкой соровой полосы нами успешно использовались охотничьи лыжи, для обследования рапных озер — резиновая лодка.

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. Пешеходным маршрутом обследуется состояние соровой полосы: ее ширина, вязкость, топкость; наличие родников, выцветов солей, пятен ожелезнения, ручьев, оврагов, террас, растительности на берегу; степень и характер ее заиливания и засоления. При обследовании самого озера описывается состояние его поверхности; устанавливается наличие полигональных отдельностей, трещин, валиков галита, участков с шишечками «пикоти» и уплотненным галитом; фиксируются «окна», промоины, места их размещения на озере, измеряются их глубина и размеры.

По крестообразным пересечениям, профилям или редкой сетке проходятся закопушки или шурфы, по которым описываются строение и характер слоев солей, их загрязненность. В рапе из шурфов определяются ее плотность и температура, те же параметры определяются в воде на соровой полосе; отбираются пробы на химический анализ. Мощность соли нередко приходится определять шупом.

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. На таких озерах посредством рекогносцировочных маршрутов обычно изучается только прибрежная зона шириной $1-2~{\rm km}$ с отправными точками, расположенными на противоположных берегах озера. Мерной рейкой на озерах промеряются глубины рапы; щупом проверяются мощность илов, наличие отложения солей. Для выяснения строения и состава иловых и соляных отложений пользуются различными пробоотборниками или грунтоносами.

Специальные рекогносцировочные работы с широким применением аэрофотоматериалов проводятся при обследовании крупных районов, заключающих большое количество соляных озер, соров, сухих озерных котловин, такыров, пресных и солоноватых озер. Если район поисков ограничен, то полевые работы начинаются с поисковых работ.

Предварительные поисковые работы проводятся на соляных озерах, выбранных в результате проведения рекогносцировочных маршрутов или предполевых камеральных работ. При этом резко сокращается количество обследуемых озер и увеличивается время на обследование каждого из них. В состав поискового отряда обычно включаются буровая бригада или проходчики шурфов. Необходима известная специализация отряда, так как обследование рапных 96

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. Последние обычно проходят на мирабилитовых и тенардитовых озерах. Несмотря на архаичность ручного бурения, на поисковой стадии во многих случаях приходится его применять. Это вызывается тем обстоятельством, что из-за нескольких мелких скважин применять тяжелый станок нецелесообразно, а легких станков пока не выпускают, да и переправа его на озеро требует строительства дороги через топкую соровую полосу. Бурение солей осуществляется в основном желонкой, бурение ила и песка — ложковым буром, по глинам — спиральным буром. При этом применяется большое количество разных приспособлений: так называемое «шлямбурное» бурение трубой с нарезанными зубцами, своеобразные колонковые разборные наконечники, вращающиеся вручную, стальные забивные стаканы и др.

На каждом озере в зависимости от его размеров проходится от 3-4 до 10-15 скважин или шурфов. Щупом проверяются наличие залежи между скважинами и ее границы в прибрежных частях озера.

На крупных рапных и «сухих» соляных озерах, в которых наличие больших запасов рапы и солей не вызывает сомнения, после рекогносцировочных работ сразу ставятся детальные поисковые работы.

Детальные поисковые работы. На этом этапе существенно изменяется основная задача 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 Инструкции ГКЗ по категории С. На «сухих» соляных озерах проходят скважины и реже шурфы с полным пересечением солевой залежи. На крупных озерах бурение желательно проводить самоходной буровой установкой или портативным буровым станком, смонтированным на прицепе к автомашине или трактору. Для этого заблаговременно выбираются наименее топкие участки соровой полосы, удобные для устройства насыпи или гати. Иногда возможно форсирование ее с помощью досчатых щитов или настилов, успешно примененных, например, при обследовании озер Северного Приаралья, Арыс, Барса-Кельмес.

Скважины в зависимости от округлой, овальной или протоковидной формы озера располагаются по квадратной или прямоугольной сети с таким расчетом, чтобы ими были освещены и прибрежные, и центральные его части. Расстояния между скважинами зависят от размеров озер, выдержанности мощности и строения солевых залежей; они могут изменяться от 1-2 км на крупных озерах до 800-400 и даже 200 м на относительно мелких. На таких озерах, как Кара-Богаз-Гол, они могут увеличиваться даже до 4-5 км. На линии, проходящей через центральные части озер, стараются расположить не менее 4-5 выработок. Сеть принимается с учетом

дальнейшего использования ее при более детальном изучении озера.

Поисковое обследование рапных соляных озер специфично. В озерах без отложений солей оно сводится к промеру глубин рапы по профилям с лодки или понтона, отбору небольшого количества 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 обследование озера осенью или зимой и весной.

В рапных озерах с отложениями солей в зависимости от их размеров и глубины рапы сооружаются различные по величине, глубине осадки и прочности понтоны, на которых монтируются станок с двигателем или тренога, если бурение осуществляется вручную.

На крупные озера для буксировки понтона приходится доставлять катер с двигателем воздушного охлаждения (поскольку охлаждение его рапой недопустимо). Учитывая сложности повторной организации бурения на крупных рапных озерах, в некоторых случаях при положительных результатах поисковой стадии ее целесообразно совмещать со стадией предварительной разведки.

Стущение сети на перспективном участке производится на основе экспресс-анализов полевой лаборатории. На крупных рапных озерах, расположенных в малонаселенных районах, приходится применять специальные меры по обеспечению безопасности персонала отряда на воде.

Предварительная и детальная разведка. Особенности методики

Многообразие озерных месторождений солей требует при их разведке разного подхода, применения различных методов изучения и оценки.

В Инструкции ГКЗ по применению классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых к озерным месторождениям солей (1961) приведены типы озерных месторождений, выделенные по природным факторам, определяющим расположение и плотность сети разведочных выработок или точек промера глубин и отбора проб рапы. Всего выделяется четыре типа. Необходимо отметить, что приводимые в указанной Инструкции примеры озерных месторождений солей каждого типа в некоторой степени условны: детальное изучение некоторых иллюстрируемых в ней месторождений показало их менее или более сложное строение и иную выдержанность режима.

По классификации запасов твердых полезных ископаемых (1960) все месторождения по требуемому соотношению запасов различных категорий для составления проектов и выделения капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих предприятий подразделяются на три группы.

Необходимо подчеркнуть, что отнесение месторождения к той или иной группе производится в процессе его разведки. Определение группы месторождения заранее, до разведки, нередко приводит к излишней детальности изучения месторождения или к его недоразведанности и необходимости проведения на нем дополнительных работ. Поэтому для правильного изучения месторождения особенно важно соблюдение строгой последовательности отдельных этапов разведки: предварительной и детальной.

Расположение выработок и плотность разведочной сети или точек промера и опробования поверхностной рапы определяются в каждом отдельном случае в зависимости от особенностей месторождения.

Предварительная разведка проводится на соляных озерах, выявленных поисковыми работами. По степени разведанности подсчитанные по результатам предварительной разведки запасы солей обычно отвечают требованиям к запасам категории С.

Изучение соляного озера заключается в более детальном, по сравнению с поисками, определении количества и качества запасов солей, строения солевых залежей, характера размещения отдельных пластов солей, закономерностней изменения состава и содержания их основных компонентов по площади озера и по мощности солевой залежи. Более полно изучаются режим соляного озера, условия питания его водой и солями, направление его развития в объемах, необходимых для надежного прогнозирования изменений состояния озера на период его эксплуатации.

Желательно, чтобы диаметр скважин колонкового бурения обеспечивал получение ненарушенного столбика керна. Следует иметь в виду, что это удается далеко не всегда. Целесообразно применять колонковые трубы диаметром 108 и 127 мму а иногда и 168 мм. При этих диаметрах столбик керна хорошо получается при проходке пластов астраханита, тенардита, мирабилита-стеклеца, галита-чугунки, хуже - эпсомита, среднекристаллического мирабилита, старосадки галита. Почти невозможно получить ненарушенный керн из ноздреватого галита-гранатки, рыхлого мелкокристаллического мирабилита. Бурение ведется без промывки и подлива рапы в скважины, с ручным или механическим расхаживанием колонковой трубы (постоянным перемещением ее вверх и вниз). Прекращение вертикального перемещения вращающейся колонковой трубы, особенно в галите-гранатке, нередко приводит к столь сильному истиранию керна, что образующаяся «мука» плотно запечатывает трубу. Нередки прихваты трубы на забое.

Буровые коронки для бурения солей армируются таким образом, чтобы обеспечивался зазор колонковой трубы $5-6\,$ мм. Для этой цели используют пластинчатые резцы. Большое значение имеет скорость вращения. Желательно, чтобы количество оборотов колонковой трубы было минимальным.

На «сухих» и особенно на рапных озерах применяется зондировочное бурение, основной задачей которого является установление сплошности солевой залежи и ориентировочной мощности ее между основными разведочными выработками, выявление участков, где она замещена илом, и ее оконтуривание в прибрежных частях озера.

В тех случаях, когда запасы солей в озере или группе озер ограниченны, на первое место выдвигается задача определения достаточности запасов для обеспечения намечаемого 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 с наиболее удобными горнотехническими и транспортными условиями. В озерах с невыясненными особенностями режима основной задачей становится изучение режима.

На стадии предварительной разведки, как и на других стадиях, геологоразведочные работы проводятся поэтапно, с постоянным использованием в дальнейшей работе всех вновь получаемых материалов. При этом необходимо принять за правило — каждую последующую скважину закладывать только с учетом данных, полученных по предыдущей скважине.

На крупных озерах с хорошей выдержанностью мощности пласта и качества соли расстояния между скважинами составляют от 400 до 800 м, на более мелких они сокращаются до 200-400 м, а на мелких с невыдержанными мощностью и 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 или малой мощностью соли. 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.

Следует подчеркнуть, что в стадию предварительной разведки месторождение и заключенное в нем полезное ископаемое необходимо изучать не только не менее детально, а иногда и более детально, чем в стадию детальной разведки. Такая необходимость обусловливается тем, что именно в эту стадию решается вопрос о целесообразности промышленного освоения месторождения, основных областях использования сырья; способах его добычи, обогащения и переработки; характере и степени изменчивости его свойств, качества и состава; его режиме и стабильности его жидкой и твердой фаз.

Предварительная разведка рапных соляных озер, в которых рапа является основным полезным ископаемым, заключается в единовременных промерах глубин и отборе проб рапы по разреженной сети, обычно соответствующей требованиям к 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 производства более частых промеров глубин и отбора дополнительных проб на участках с теми или иными отклонениями по глубине или по 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 обязательно должны дополняться по меньшей мере годичным циклом наблюдений за из-

менением уровней рапы, ее плотности, температуры и химического состава.

Детальная разведка производится чаще всего буровыми скважинами, значительно реже шурфами, которые располагаются с учетом заложенных выработок предварительной разведки и намечаемой системы разработки месторождения. Расположение скважин и ориентировка разведочной сети определяются на стадии предварительной разведки и уточняются на стадия детальной разведки при последовательном сгущении сети. Рекомендуемые Инструкцией ГКЗ (1961) расстояния между скважинами и шурфами не должны рассматриваться как обязательные. В то же время нельзя не отметить встречающееся нередко недостаточно обоснованное сгущение или разрежение разведочной сети по сравнению с расстояниями, рекомендуемыми в Инструкции и основанными на опыте разведки многочисленных озерных месторождений солей. Во всяком случае, расстояния между скважинами в 400 м для категории В и 800 м для категории С, применимы только на соляных озерах с очень выдержанными на больших расстояниях по мощности и качеству пластами солей, а дальнейшее разрежение сети вряд ли можно признать целесообразным.

В процессе детальной разведки солевая залежь расчленяется на пласты и слои, характеризующиеся однородным минералогическим составом и близким содержанием основных компонентов, и слои некондиционные, загрязненные илом или другими примесями. Совместная разработка кондиционных и некондиционных слоев может ухудшить качество добываемых солей в целом. Слои, прослои, пинзы солей в солевой залежи должны быть прослежены, сопоставлены и увязаны во всех выработках. 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 4-5 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 возможно применение топоосновы 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 до мелких до $500-1000\,$ м на крупных озерах.

Разведочные выработки или скважины на соляных озерах должны пересекать все отложения солей и углубляться в подстилающие эти отложения и слой ила породы на глубину, достаточную для решения вопроса об их коренном залегании. В ряде случаев углубление скважин на 1-2 м в подстилающие породы целесообразно для выяснения условий питания озер, так как во многих из них на большей части

солевая залежь и ил подстилаются глинами, а на остальной части песками.

В более редких случаях, когда мощность солевой залежи велика (до 10-20 м и более) или когда в солевой залежи выделяется несколько разделенных слоями ила пластов солей, а эксплуатировать запланировано только верхний пласт, большая часть скважин проходится до установленного горизонта разработки месторождения. Меньшая же их часть, как правило, еще в стадию предварительной разведки 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. Точки зондирования размещаются на линиях между основными скважинами и на их продолжении к берегам озера. Плотность точек зависит от характера размещения линз ила, замещающего солевую залежь, и выклинивания ее к берегу.

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 количеством. Общее количество скважин, пройденных на площади разведки солей по промышленным риям, должно быть достаточно большим (во всяком случае не меньше нескольких десятков). Это исключает случайные ошибки в оценке выдержанности мощности и состава солей. Для обеспечения отбора представительных проб из донных отложений солей очень важны тщательная обсадка трубами солевой залежи для изоляции ее от поверхностной рапы и достаточно большой диаметр бурения.

Разведка каждого очень крупного озера требует максимального использования накопленного опыта разведок соляных озер, творческого подхода к его разведке с учетом местных условий, зачастую в каждом случае разработки, и применения новых методов исследований, поскольку каждое такое озеро обладает индивидуальными особенностями.

Изучение бассейна соляного озера

102

То обстоятельство, что соляные озера, как правило, являются современными образованиями и что их формирование продолжается и в настоящее время, предопределяет зависимость их состояния и происходящих в них изменений от многочисленных факторов. С этим связана необходимость изучения кроме самого месторожде-

ния и его полезных ископаемых (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 его режим. Для установления всего этого необходимо изучение климатических факторов, рельефа, гидрографической сети, условий питания озера поверхностными водами за счет временных водотоков, речек, ручьев, источников.

Изучение бассейна соляного озера в широком плане является задачей геолого-гидрогеологической съемки (например, масштаба 1:50000), включающей достаточный объем буровых работ. При ее отсутствии в районе соляного озера, выявленного поисковыми работами и рекомендованного для разведки, проводится минимально возможный, но достаточный для получения надежных сведений об основных источниках и условиях питания соляного озера объем исследований.

Эти исследования в зависимости от конкретных условий, размеров и народнохозяйственного значения объекта могут быть очень значительными или небольшими, решать только частные задачи или быть достаточно обширными для крупных научных обобщений и выводов. Поэтому шаблонное применение тех или иных рекомендаций к изучению бассейна любого соляного озера недопустимо.

Изучение особенностей и размеров поверхностного стока в озеро может заключаться в измерении расхода воды по основным водотокам, в том числе временным, и наблюдениях за его изменением в течение года или нескольких лет методами, применяемыми в гидрологии. Более полное изучение поверхностного стока предусматривает изучение рельефа, грунтовых вод и стекающих по поверхности осадков, снегового покрова, особенностей таяния снега и стока талых вол.

Изучение подземного стока в озеро и его связей с горизонтами подземных вод включает изучение развитых в бассейне озера водоносных горизонтов, воды которых могут участвовать в питании озера, и изучение условий поступления этих вод в озеро или условий оттока из него рапы.

Изучение водоносных горизонтов приходится, как правило, ограничивать участками, прилегающими непосредственно к изучаемому. В большинстве случаев ограничиваются обследованием бассейна озера единичными скважинами, по данным которых определяются: основные параметры водоносных горизонтов, которые могут участвовать в питании озера; 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. С помощью этих же скважин изучается и геологическое строение бассейна озера. В то время как представление о более глубоких водоносных горизонтах может быть получено по данным единичных скважин, для

обоснованного суждения о горизонте грунтовых вод приходится проходить большее количество скважин (а иногда и шурфов), значительно расширять круг исследований и наблюдений, включающих условия питания горизонта на разных участках в течение года; подпитывание его напорными водоносными горизонтами; глубину его уровня от поверхности и связанный с этим их расход на испарение, транспирацию растениями, внутригрунтовое испарение; изменения состава и минерализации его вод.

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, в которых поток подземных, особенно грунтовых, вод 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 от перечисленных отложений 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 бывших морских заливов, бывшими руслами и их озеровидными расширениями. Площадные оценки здесь малоприемлемы.

В четвертичных отложениях соленосных районов часто встречаются два (и больше) местных водоносных подгоризонта, разделенных глинами, суглинками, сильно глинистыми песками. Различия в положении верхнего и нижнего подгоризонтов и в их взаимодействии с атмосферными факторами определяют существенные различия в степени минерализации вод, их химическом составе; в верхнем подгоризонте минерализация и состав вод более пестрые. Такое сложное строение четвертичного водоносного горизонта и разные пути поступления в озеро вод разных его подгоризонтов требуют выделения и изучения каждого из последних.

Изучение водоносных горизонтов в районе озера как потенциальных источников его питания водами и солями производится обычными принятыми в гидрогеологии методами при изучении гидрогеологических условий района или источников водоснабжения.

Специальной задачей, которая решается в основном также принятыми в гидрогеологии методами, но требует разработки новой методики и специфики ее применения, является изучение и условий поступления подземных вод в соляное озеро и условий оттока рапы

из озера в горизонты подземных вод. Здесь, в непосредственной близости от озера, происходит резкое увеличение концентрации солей, значительное изменение состава подземных (в первую очередь грунтовых) вод, на коротком расстоянии сильно ухудшаются фильтрационные свойства пород и их устойчивость (слой полужидкого ила), резко замедляющие скорость потока подземных вод или активизирующие их поступление в озеро по отдельным вымытым ими каналам, «окнам», промоинам. Поэтому обычные расчеты поступающих в озера водопритоков и солепритоков, основывающиеся на средних коэффициентах фильтрации пород водоносных горизонтов и составе и минерализации их вод, как правило, оказываются недостоверными.

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 этих благоприятных направлений. На горизонты или подгоризонты с напорными подземными водами на профилях, которых не должно быть много, закладывается 3-4, реже. 5 скважин 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.

Изучение горизонта грунтовых вод обычно проводится посредством тех же скважин, которыми изучаются и более глубокие горизонты, однако количество скважин на профилях, как правило, увеличивается; иногда задаются дополнительные профили, проходятся шурфы, расстояния между которыми могут сокращаться до 50 и даже до 20 м. Эти исследования разового обследования желательно продолжить систематическими наблюдениями, оборудовав для этого наблюдательные скважины и посты.

Глава II

ОПРОБОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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

Важнейшей задачей исследователя является разработка и выбор оптимальной системы опробования. Последняя должна обеспечивать: применение способов отбора и обработки проб, гарантирующих сохранение в пробах свойств, характерных для полезного ископаемого и вмещающих пород — солей, рапы, илов, грунтов, подземных и поверхностных вод; пространственное размещение отбираемых проб, гарантирующее получение надежной и максимально

достоверной качественной характеристики полезного ископаемого; периодичность отбора проб, гарантирующих выявление основных происходящих в озере изменений; применение такого комплекса испытаний и исследований, которое при минимальной затрате времени и средств позволяло бы получить максимально надежную и полную информацию о месторождении и полезном ископаемом.

Особенности отбора и обработки проб солей и рапы

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. С учетом небольшой глубины рапы в рапных соляных озерах и интенсивного перемешивания ее ветром и конвекционными токами иногда ограничиваются отбором одиночных ее проб. Это может привести к существенным ошибкам. В зависимости от конкретных особенностей озера количество точек опробования может изменяться в широких пределах. В случае же, если рапа рассматривается в качестве основного полезного ископаемого, количество точек опробования должно быть не меньше 50-100. При попутном использовании рапы количество точек ее отбора может быть сокращено. Основная часть точек опробования должна располагаться по правильной сети, равномерно освещающей участки со средними, наибольшими и наименьшими глубинами, так как между ними могут наблюдаться заметные различия в составе рапы. 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, реже (при высокой выдержанности состава и свойств), как и при попутном ее использовании, по разреженной сети.

Пробы солей отбираются послойные, реже интервалами, длина которых, как правило, определяется условиями намечаемой эксплуатации. На стадии 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. Для пласта галита мощностью 10-

20 м интервалы опробования иногда увеличиваются до 2-3 м. Интервалы или слои сильно загрязненных солей при мощности 20-40 см целесообразно опробовать отдельно, а при меньшей мощности их следует включать в пробу более чистой соли.

В опробовании солей очень важен учет намечаемого способа разработки месторождения, который может способствовать очистке добываемой соли от примесей, ее загрязнению, быть селективным и т. п.

Поверхностная рапа мощностью до 1 м, как правило, характеризуется одной пробой из средних слоев; при большей мощности ее слоя отбирается по три пробы: из поверхностных, средних и придонных слоев в каждой точке.

Пробы межкристальной рапы отбираются послойные, из пластов разного минералогического состава или с интервалов 1-2 м: При малой изменчивости состава рапы можно ограничиться тремя пробами — из верхней, средней и нижней частей солевой залежи, а при небольшой ее мощности даже двумя или одной пробой.

Отбор проб солей производится: из скважин колонкового бурения — по керну; из скважин ручного бурения — из материала, извлекаемого желонкой или ложковым буром; из шурфов — в виде борозды, сечением в зависимости от величины кристаллов и сростков соли (чаще всего 5×5 или 5×10 см). Отбор проб усложняется наличием рыхлых, ноздреватых разностей соли (гранатки), нередко чередующихся с плотными разностями (чугункой); высокой гигроскопичностью; легкой обезвоживаемостью; низкой температурой плавления некоторых солей.

Отбор проб солей из керна производится его распиливанием, раскалыванием вдоль оси, а при его плотности и однородности — высверливанием по оси отверстия и сбора образующегося при этом порошка. Для сохранения последовательности слоев при документации и опробовании керна необходимы очень тщательное и аккуратное извлечение его из колонковой трубы и укладка на фанеру или другой плотный материал.

В жаркое летнее время, когда температура воздуха поднимается до $35-40\,^\circ$ в тени, разделка и описание керна, особенно содержащего минералы с кристаллизационной водой, на открытом воздухе крайне нежелательны.

Ранее пробы солей обычно 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, так как при изменении температуры и влажности воздуха наименее стойкие минералы и примеси часто переходят в раствор, пропитывают бумагу, кристаллизуются на ней

и искажают состав пробы. Дубликаты проб лучше сохранять в запарафинированном виде. Длительное хранение проб до их анализа крайне нежелательно; чаще всего целесообразно иметь на месте полевые химическую и минералогическую лаборатории.

Обработка проб солей заключается в последовательном измельчении и квартовании их материала в соответствии с формулой Чечётта. Правильность принятой схемы обработки проб и коэффициента К должна быть подтверждена опытным путем или проверенными данными по аналогичным месторождениям. Обычно для озерных месторождений К находится в пределах 0,1-0,5. Вопросы обработки проб и их представительности изложены в работе В. М. Борзунова (1969). 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 или даже до 3 мм). При этом в виде исключения, которое в каждом случае должно быть достаточно обоснованным, приходится сознательно допускать неполную представительность пробы в отношении интервала, из которого она отобрана. При отсутствии систематической ошибки средние данные по группе таких проб (по скважине, в блоке) могут быть достаточно представительными. Более радикальным является увеличение конечного веса проб, соответствующего минимальной величине зерен (при 1 или 2 мм -до 200-400 г и более). 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. Однако все это повышает достоверность получаемых данных.

Отбор проб поверхностной рапы по всей площади озера осуществляется одновременно и совмещается с промером глубин. Для этой цели используются пробоотборники различных систем. Простейшие из них представляют собой рейку с делениями для определения глубины отбора пробы, на которой закрепляется бутылка (0,5 л) с пробкой, открывающейся на заданной глубине с помощью шнура. Бутылку перед отбором пробы трижды споласкивают рапой. Наполненная пробой бутылка закрывается пробкой и заливается сургучом или закрывается резиновой соской. В горлышке ее сохраняется 3-4 см3 воздуха. Отбор проб должен сопровождаться измерением температуры и плотности рапы. Обязательно измеряется температура на глубине отбора пробы. Рейка с бутылкой опускается очень плавно. Пробы из верхних или нижних слоев рапы отбираются в 10-20 см от поверхности или от дна озера. Кроме места взятия пробы документируются глубина и даты ее отбора; время дня, температура и плотность рапы; наличие или отсутствие осадка, его количество и характеристика. В некоторых случаях в рапе имеется полувзвешенная новосадка соли, а иногда последняя из-за перенасыщенности или изменения температуры рапы выпадает в бутылке при ее хранении. Поэтому представляется необходимым сопоставление характеристики пробы при ее отборе с ее характеристикой перед передачей на анализ (Валяшко, 1964).

Из скважин пробы межкристальной рапы берут после окончания бурения посредством их отбора с определенных интервалов, чаще всего из различных по составу слоев солей. После окончания бурения до отбора проб должно пройти достаточное время для устранения возникающего при бурении перемешивания рапы. Иногда отбор проб производят в процессе бурения, после проходки скважиной очередного пласта соли - галита, тенардита, астраханита, эпсомита, мирабилита. В этом случае производится обсадка стенок скважины трубами до кровли опробуемого пласта. После извлечения инструмента из скваждаы желонкой откачивается не менее трехкратного заключенного в ней объема рапы; оставшейся в скважине рапе дают в течение 1-3 ч отстояться, а затем пробоотборником отбирают пробу с глубины залегания средней или нижней части опробуемого пласта. Затем обсадные трубы опускаются и проходился следующий пласт. При отборе пробоотборник опускается и поднимается плавно, без возбуждения турбулентных токов рапы. В каждой пробе определяются плотность и температура рапы.

Послойный отбор проб из скважины после окончания бурения лучше производить через 2-3 дня с тем, чтобы в ней восстановилось послойное распределение рапы. Отбор проб лучше производить одновременно со всех заданных глубин, закрепив бутылки на штанге, рейке или тросе с утяжелителем, опуская их в скважину медленно и плавно. Перед заполнением бутылок рапой снаряд следует выдержать в положении отбора не менее 0,5-1 ч. Пробки бутылок лучше открывать последовательно, сверху вниз. Вообще следует заметить, что послойный отбор проб из одной скважины после ее бурения позволяет получить только приближенное распределение рапы в пластах солевой залежи.

Необходимо учитывать возможность поступления в солевую залежь и смешение с рапой менее минерализованных и напорных вод при вскрытии скважиной встречающихся на многих озерах под слоем ила илистых песков. Углублять скважину в слой ила поэтому желательно только после отбора проб рапы из солевой залежи. Из шурфов пробы следует отбирать в день их проходки, так как за сутки, особенно на мирабилитовых озерах, возможно значительное изменение состава рапы в шурфе по сравнению с ее составом в пласте.

Во многих случаях отбор проб рапы из скважин проводится одновременно с пробной откачкой. Эти пробы более надежно характеризуют состав рапы рассольного горизонта и характер его изменения по мере откачки на каждом понижении.

Так как сам отбор проб рапы сравнительно дешев, целесообразно кроме отбора проб на анализы отбирать значительно большее количество проб для определения плотности и температуры рапы.

Определение плотности рапы необходимо проводить непосредственно у скважины, без промедления, так как из рапы, особенно пересыщенной, при изменении ее температуры может выпасть осадок, и плотность ее после выпадения осадка не будет соответствовать

плотности рапы в пласте. Для этого используется набор ареометров, цилиндр и термометр с делениями до 0.2° . В лаборатории плотность обычно определяется пикнометром.

Большого внимания требуют длительное хранение проб рапы и их транспортировка, особенно при резких колебаниях температуры и понижениях ее ниже нуля. Ив рапы нередко выпадают мирабилит, магнезиальные соли, глауберит. Рапа после выпадения из нее мирабилита опресняется, и образовавшийся в бутылке лед может ее разорвать.

Иногда при длительном хранении рапа в бутылке расслаивается на несколько слоев с различной плотностью и составом солей. Этому способствуют, например, неоднократное выпадение из рапы и растворение в ней мирабилита вследствие колебаний ее температуры. Рапа в бутылках перед анализом или повторным определением плотности должна тщательно перемешиваться или взбалтываться, а иногда подогреваться до растворения выпавшего осадка.

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 и обработка проб илов и грунтов

Отбор проб илов и их изучение не имеют и не могут иметь единой методики: эта методика определяется задачами, поставленными перед исследователем, а задачи могут быть разными. Специфической; особенностью илов является способность их удерживать большое количество воды или рассола, иногда превышающее вес сухого остатка. Со временем происходит уплотнение ила и выделение из него части воды или рассола. В иле может происходить перераспределение не только воды, но и катионов и анионов между его компонентами, различное по характеру минералообразование. Все это заставляет подходить к опробованию илов с определенными предосторожностями и предварительно разработанной программой их изучения, предусматривающей и мероприятия по сохранению тех или иных свойств ила при отборе, хранении и обработке проб.

Для сохранения структуры ила и выявления годичных или сезонных слоев пробы его чаще всего отбираются грунтоносами различных систем, обеспечивающими получение ненарушенного столбика и изолирующими его от соприкосновения с вышележащими солями и слоем рапы. Пробы помещаются в стеклянную тару или полиэтиленовые мешочки, закрываются герметически и хранятся до анализа в помещении с постоянной температурой.

При опробовании ила наиболее распространенными исследованиями являются изучение вытяжек и выжимок из него, поглощенных оснований; скелетной, тонкодисперсной и коллоидной составляющей. состава легкорастворимых и труднорастворимых солей в плотном остатке, микрофлоры.

Учитывая высокую стоимость и трудоемкость анализов ила, включающих определение многих компонентов в водной и соляно-кислой вытяжках и нерастворимом остатке, количество проб его для такого анализа должно быть минимальным, а во многих озерах с простым строением солевой залежи отбор таких проб вообще нецелесообразен.

В больших количествах возможен отбор проб ила для сокращенных анализов, основная задача которых заключается в выявлении легкорастворимых солей, концентрирующихся в его слое, и труднорастворимых образований, выпадающих в результате метаморфизации рапы и вод, поступающих в рзеро. В этих пробах обычно определяется содержание: в водной вытяжке — $Mg^{"}$; $Ca^{"}$; $SO_4^{"}$; $Na^{"}$; $K^{"}$; $C1^{"}$; $C0_3^{"}$; $HCO_3^{"}$; и сухого остатка; в солянокислой вытяжке — $Mg^{"}$; $Ca^{"}$; $SO_4^{"}$; $CO_3^{"}$; в некоторых случаях FeO и FeO3, иногда S, а также нерастворимого в HC1 остатка. Пробы отбираются тем же порядком, что и на полный анализ, но с охватом большего количества точек и более дробных интервалов. Иногда, учитывая длительное время для накопления илов, пробы отбираются только из верхнего слоя мощностью до 10-20 см.

Отбор проб грунтов в бассейне соляного озера обычно производится попутно, при изучении основных водоносных горизонтов, принимающих участие в питании озера. Пробы могут отбираться для изучения фильтрующих свойств грунта, выяснения его роли как источника легкорастворимых солей, выяснения метаморфизации подземных и, в частности, грунтовых вод на их пути к соляному озеру.

Изучение грунтов позволяет по конечным результатам метаморфизации и наличию в них тех или иных труднорастворимых солей судить о направлении, скорости и ходе этих процессов.

Целесообразнее изучение грунтов проводить путем сравнения анализов проб, отобранных в разные годы по направлению потока подземных вод и разрезу водоносных горизонтов. Наиболее доступными методами исследования грунтов для выяснения условий питания соляного озера являются: изучение их гранулометрического состава с выделением крупных, мелких и тонкодисперсных фракций; изучение содержания в них или в отдельных фракциях продуктов метаморфизации — карбонатов кальция и магния, сульфата кальция, в некоторых случаях сульфидов и окислов железа, а в отношении засоленных грунтов и основных компонентов — легкорастворимых солей. Как и из проб илов, из проб грунтов обычно делают водную и солянокислую вытяжки. Единичные пробы используются для минералого-петрографических исследований.

Как правило, пробы грунтов отбираются на небольшом удалении от озера из скважин, расположенных в профиле по направлению потока грунтовых вод к озеру или от него, из пород водоносных горизонтов. Отбираются пробы из обводненной части горизонта, иногда из ее верхних и нижних слоев, зоны капиллярного поднятия, почвенного слоя.

Для изучения гранулометрического состава отбираются пробы весом $1-2~\rm kr$; для химического анализа они дополнительно квартуются до веса $100-150~\rm r$. Глубокое изучение илов и грунтов очень трудоемко и дорого, поэтому практикуется при проведении разведочных работ лишь на крупных объектах.

Опробование поверхностных и подземных вод

Изучение условий питания озера сопровождается опробованием вод поверхностного стока, грунтовых и более глубоких горизонтов подземных вод. Отбор проб воды во многом аналогичен отбору проб поверхностной и межкристальной рапы. Для определения содержания в воде основных растворенных солей достаточно отобрать пробу в бутылку или полиэтиленовую емкость объемом 0,5 л. Об отборе проб воды и рассолов можно прочитать в методических руководствах по гидрогеологии, а также в работах А. И. Дзенс-Литовского и М. Г. Валяшко (1935, 1957), которые не утратили своего значения до настоящего времени. Правила отбора проб рассолов и солей изложены М. Г. Валяпгко (1964).

Отбор проб поверхностных вод должен быть увязан по площади и во времени с отбором проб подземных вод и рапы озера, проб ила и грунтов.

Отбор проб воды из временных водотоков большей частью носит случайный характер; представительность и типичность этих проб нередко вызывают большие сомнения, но они могут представлять значительный интерес.

Количество таких проб не должно, как правило, превышать 20-30. Примерно то же относится к отбору проб из речек, ручьев, источников, из которых пробы воды отбираются близ их истоков, на пути к озеру и близ устья. Для постоянно действующих водотоков и источников пробы могут отбираться раз в сезон, раз в месяц, раз в 10 дней. Систематический отбор проб, как правило, достаточно производить из 1-3 типичных или наиболее крупных водотоков или источников; из остальных водных объектов можно ограничиться разовыми пробами. Отбор проб обычно совмещается с определением количества воды, поступающей в озеро из данного источника.

Опробование подземных вод производится при изучении водоносных горизонтов или при наблюдениях за их режимом из скважин, реже из шурфов. Пробы воды отбираются примерно так же, как отбираются пробы рапы. Отбор проб лучше всего проводить по профилям скважин или шурфов, заложенных по потоку подземных вод к озеру. Иногда при разной насыщенности воды солями возникает необходимость отбора проб воды не только из водоносного горизонта в целом, но и послойные. На соровой полосе такие пробы можно отбирать из закопушек или из перфорированной трубы, оснащенной сетчатым фильтром. Следует учитывать при этом, что в шурфах вода испаряется в несколько раз быстрее, чем грунтовая вода. Химический состав воды в шурфах через несколько дней после

их проходки, как и ее уровень, может значительно отличаться от химического состава и уровня грунтовых вод. Поэтому пробы воды из шурфов необходимо отбирать не позже чем на следующее утро после проходки шурфа.

Глава III

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА СОЛЯНОГО ОЗЕРА

Систематическое изучение режима соляного озера должно начинаться еще в стадию поисковых работ. Разумеется, к нему приступают только в том случае, если перспективность промышленного освоения озера, хотя бы и в отдаленном будущем, не вызывает больших сомнений. Даже неполный комплекс наблюдений этого периода очень важен, так как он увеличивает длительность изучения водносолевого режима озера.

Пока нельзя считать достаточно определившимся весь комплекс наблюдений, которые необходимо проводить для изучения водносолевого режима соляных озер. Не установлено также и оптимальное сочетание и совмещение метеорологических, гидрологических, гидрогеологических и гидрохимических наблюдений для различных районов и разных типов соляных озер. Поэтому в настоящее время можно говорить в принципе о рекомендациях, основанных на результатах проводившихся в разных районах комплексов исследований, целесообразность которых нередко нуждается в проверке, а методика — в дальнейшей разработке.

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.

Наблюдения за водно-солевым режимом озера

Обычно изучение водно-солевого режима озера сводится к систематическим замерам уровня рапы (уровенный режим), ее температуры (термический режим), плотности, к 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. В некоторых случаях наблюдения, особенно за температурой рапы, проводятся, четыре раза в сутки, в сроки, согласованные с гидрометеослужбой (1 час, 7 часов, 13 часов, 19 часов московского времени). Пробы рапы для химического анализа отбираются раз в месяц, иногда раз в 10 дней, что надежнее, так как одна проба может характеризовать нетипичное для данного месяца состояние рапы. Что касается наблюдений за уровнем и плотностью рапы, то их следует проводить через 2-3 дня,

лучше ежедневно, в одно и то же время. Иногда возникает необходимость наблюдений за отдельными слоями рапы. 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 условиямиг а отклонения от этих условий в отдельные годы наблюдений позволили бы обосновать прогноз состояния цзера в наиболее влажные и наиболее засушливые годы. Пщэтому, если показатели наблюдений в отдельные годы получаются весьма разными, наблюдения, как правило, следует продолжить еще 1-2 года.

Для более детального выяснения особенностей режима озера иногда необходимо определение изменения в них объема рапы. Следует сделать топосъемку соровой полосы, чтобы получить сечения ее горизонталями и организовать наблюдения за степенью ее затопления с тем, чтобы можно было рассчитать изменения объема рапы в озере в течение годового цикла и сопоставить их с изменениями плотности, химического состава и концентрации ее солей.

Существенное значение имеет правильное размещение на озере наблюдательных постов. Большое количество точек наблюдения приводит обычно к избытку очень однообразного, неконтрастного материала наблюдений, в котором теряются особенности озера и его режима. В этой связи целесообразно ограничиться минимальным количеством 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. Основные посты следует располагать с учетом преобладающих направлений ветров на подветренной и на наветренной сторонах озера во избежание искажений в результате сгонов и нагонов рапы ветрами. В зависимости от размеров озера и необходимой детальности изучения на нем оборудуются два или четыре основных поста и столько же несколько больше) дополнительных постов. при изучении группы соляных озер посты оборудуются на типичном или типичных озерах, а на остальных производятся только временные или разовые наблюдения. Основные посты обычно оборудуются на берегу озера, с помещением для разборки, обработки и хранения проб, первичной обработки результатов наблюдений, дежурств наблюдателей. постов на озеро выносятся основные пункты наблюдений. Если позволяет глубина рапы, пункты наблюдений желательно располагать на эстакадах возможно дальше от берега, соединяя их с берегом мостками. Один из пунктов наблюдения устраивается у самого берега. На озерах с большой глубиной рапы (например, на Кара-Богаз-Голе) пункты наблюдения, которые на нем называют станциями, располагаются на линиях, составляющих треугольник, с проложением на них маршрута движения судна, с которого на этих станциях производятся наблюдения. Следует предостеречь от некритического копирования системы наблюдений за поверхностной рапой,

принятой на Кара-Богаз-Голе, так как на нем зоны, занимающие большую часть акватории озера, оказались не охваченными систематическими наблюдениями, как и прибрежная зона соляной суши.

Основные посты наблюдения за поверхностной рапой целесообразно совмещать с постами наблюдения за напорными грунтовыми водами и источниками на берегах озера, и с площадками, на которых проводятся опытные работы и наблюдения за испарением. Наблюдения за состоянием рапы на этих постах необходимо сопровождать комплексом метеорологических наблюдений: за температурой воздуха на разных высотах (обычно 0,1; 1 и 2 м), его влажностью, направлением и скоростью ветра, давлением воздуха, выпадающими осалками.

Комплекс наблюдений за состоянием рапы на рапных озерах иногда включает наблюдения за температурой поверхности рапы и дна озера. На очень крупных соляных озерах организуются наблюдения за течениями, смешением рапы и поступающих в озеро вод.

На рапных озерах с донными отложениями солей комплекс наблюдений расширяется за счет систематического изучения состояния межкристальной рапы (наблюдения за ее температурой, плотностью, составом и концентрацией в ней солей). Для изучения межкристальной рапы на пункте наблюдения (иногда на двух) оборудуются наблюдательные скважины. Замеры температуры рапы в скважинах обычно производятся термометрами, заленивленными медными опилками, помещенными в оправы и опускаемыми в скважину на шнуре.

На «сухих» озерах комплекс наблюдений несколько видоизменяется. Изучение поверхностной рапы ограничивается осенне-зимневесенним периодом пребывания ее на озере. Соответственно возрастает роль наблюдений и за межкристальной рапой.

От основного поста, расположенного на берегу за пределами затопляемой части соровой полосы, на солевую залежь озера выносится основной пункт наблюдений, или наблюдательная площадка, для которой выбирается место с наиболее типичным строением солевой залежи и ее поверхности, удаленное от берега на $200-300\,\mathrm{M}$, иногда более. Площадка обозначается далеко заметными вешками, при этом устройство на ней каких-либо сооружений, затеняющих ее, нежелательно. Будку или укрытие от ветра лучше сооружать на некотором удалении от площадки $(10-20\,\mathrm{M})$.

Наблюдения за уровнем рапы осуществляются по рапомерной рейке, закрепленной в пласте соли в шурфе, а лучше совмещенной с обсадной перфорированной трубой скважины. Верх трубы или рейки привязывается нивелиром к реперу на берегу озера. Шурф или скважину необходимо периодически чистить от заполняющих его солей, особенно на мирабилитовых озерах.

Наблюдения за уровнем, плотностью, температурой, составом и концентрацией солей в межкристальной рапе на разных глубинах обычно совмещаются и производятся по одной скважине, обсаженной

на всю глубину перфорированными трубами с сетчатым фильтром. Термометры в оправе и бутылки для отбора проб рапы с разных глубин извлекаются из скважины только во время замера температуры и отбора пробы для определения плотности и на химический анализ. Особо отмечается время появления на озере поверхностной рапы и время понижения ее уровня ниже поверхности пласта.

На крупных или сложных объектах для измерения плотности, температуры, химического состава и концентрации солей в рапе на разных глубинах на площадке можно оборудовать не одну, а группу расположенных рядом скважин. Каждая из скважин проходится до заданной глубины наблюдений (2, 4, 6 м и т., д.) или до середины пластов разного минералогического состава. Для лучшей изоляции вышележащих слоев скважина тамдонируется.

В ряде случаев для изучения процессов преобразования солевых залежей представляется целесообразным оборудовать наблюдательную площадку вытяжными термометрами. Вместо применяемых на метеостанциях для этой цели трубок из картона, учитывая необходимость длительного пребывания их в рапе, можно воспользоваться толстостенным шлангом типа кислородного, оборудовав его массивным наконечником из меди или латуни с полостью, в которую опускается термометр (в оправе). Воздух в шланге, как и его стенки, значительно менее теплопроводны, чем рапа и соли, а массивный наконечник быстро воспринимает температуру окружающего слоя соли и рапы. Термометры в шланги опускаются заленивленными в металлической оправе на шнурах, концы которых крепятся в пробке, закрывающей шланг, возвышающийся над поверхностью соли на высоту, исключающую их затопление поверхностной рапой.

Под шланги бурятся скважины малого диаметра (например, 75 мм); после установки шланга обсадные трубы извлекаются и пространство между трубой и шлангом заполняется солью. Вытяжные термометры опускаются на те же глубины, что и скважины, пробуренные для наблюдений и отбора проб рапы из разных слоев. Это дает возможность сопоставлять данные наблюдений за гидрохимическим режимом озера на разных глубинах с данными о термическом режиме на тех же глубинах.

Изучение взаимоотношений жидкой и твердой фаз

Изменение плотности, концентрации и состава солей рапы, температуры рапы тесно связано с переходом солей из твердой фазы в жидкую и обратно. 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 смешения, концентрирования и т. п. Для отбора пробы выпавшего за сезон ила целесообразна установка на дне озера сосуда достаточно большой площади с высокими стенками, препятствующими попаданию в сосуд ила, взмученного со дна волнениями или течениями.

В рапных озерах с периодически выпадающей новосадкой наблюдают за началом, длительностью и окончанием выпадения каждой соли, за характером ее растворения. Производится описание ее строения, размеров и формы кристаллов, мощности новосадки в разных частях озера, отбираются пробы на анализ.

На рапных озерах с твердыми отложениями солей желателен также систематический отбор проб солей из середины пластов солевой залежи для выявления происходящих в них в годовом цикле изменений.

Наиболее интересными и разнообразными могут быть наблюдения за изменением состояния и состава солевых залежей «сухих» озер, в которых рапа находится в наиболее тесном взаимодействии с солями. Они могут включать изучение солей, выпадающих из поверхностной рапы вплоть до ее исчезновения и образующихся на поверхности залежи за счет испарения межкристальной рапы. Столь же интересны наблюдения за изменением структуры и состава солей в пластах солевой залежи в течение годового цикла, происходящим вследствие изменения температур, растворимости солей, перемещения рапы и поступления в солевую залежь недонасыщенных вод через соровую полосу, «окна» и поверхностной рапы через трещины в пласте. Не менее важны наблюдения за преобразованием солевых залежей, изменением их минерального состава, которое, однако, может быть замечено далеко не на всех озерах из-за различной скорости этих процессов на разных озерах. Наиболее заметно оно проявляется в пограничных слоях пластов солей. Изучение всех этих изменений заключается в систематическом отборе проб из одних и тех же слоев на достаточно дробных интервалах, производстве по ним химических и минералогических анализов, систематических наблюдениях с макроскопическими описаниями, фиксирующими примерные соотношения минералов, размеры кристаллов и зерен, наличие врастания, прорастаний, замещения одних минералов другими, следов растворения и заполнения пор. Следует отметить, что подобные исследования ранее почти не проводились и поэтому требуют разработки и использования новых методов, правильность которых должна проверяться в ходе наблюдений.

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

Установление воздействующих на режим озера факторов

Е. В. Посоховым (1968) предложена классификация основных факторов, воздействующих на формирование состава подземных вод и в известной степени на формирование соляных озер, на их режим. Некоторые положения его работы являются спорными. Однако она, несомненно, полезна тем, что в ней систематизированы все эти факторы и сделана попытка осветить роль каждого из них в формировании не только подземных вод, но и соляных озер.

Среди этих факторов, прямо или косвенно воздействующих на режим озера, можно выделить некоторые группы их, характеризующиеся определенными особенностями. К ним относятся метеорологические (или климатические), гидрологические и гидрогеологические, геоморфологические и геологические, геохимические и гидрохимические факторы. Для изучения их роли рекомендуется включить наблюдения за ними в общий комплекс наблюдений за режимом соляного озера.

В числе метеорологических факторов, оказывающих наибольшее воздействие на испарение, следует отметить температуру и влажность воздуха, ветер и давление, в характеристике которых наряду с региональными особое значение имеют местные особенности, определяющие микроклимат озера.

Изучение геоморфологических, гидрологических и гидрогеологических факторов, определяющих условия питания озера, производится в процессе поисковых и разведочных работ. Затем через несколько лет производится их повторное изучение. В течение всего этого времени ведутся систематические наблюдения.

После описания в процессе разведки впадающих в озеро современных и древних долин и русел, овражно-балочной сети, определения скоростей течения и расхода воды в действующих руслах и протоках необходимо организовать двух-трехлетние систематические наблюдения за поступлением в озеро поверхностных вод. Очень важно установить количество воды, поступающей в озеро в отдельные месяцы, сопоставить ее притоки с уровенным режимом озера. Эти наблюдения необходимо увязывать с наблюдениями за подземными водами, их связью с водами поверхностными.

Нередко наблюдается стремление охватить систематическими наблюдениями все, даже самые малые источники и водотоки, несущие воды в озеро. Эта задача очень интересна, но, как правило, требует слишком большой затраты времени и средств и поэтому не должна включаться в геологоразведочные работы. Притоки из мелких водотоков приходится учитывать по аналогии с притоками из более крупных водотоков, за которыми ведутся систематические наблюдения с внесением поправки на их величину, водообильность и время действия.

Изучение воздействия гидрогеологических факторов на режим соляного озера и направление его развития складывается из работ по выявлению водоносных горизонтов, их морфологии и условий залегания, водообильности и связи с рапой в процессе разведки месторождения и наблюдений за режимом водоносных горизонтов, непосредственно участвующих в питании водой и солями исследуемого озера.

Изучение геологических и геохимических факторов производится в процессе разведки озера и исследования его бассейна. Вопросы питания озера солями из четвертичных и коренных отложений бассейна или из продуктов их выветривания за счет выщелачивания содержащихся в них растворимых солей или катионного обмена пока

изучены недостаточно. Поэтому выявление геологического строения бассейна озера и характера вмещающих его отложений преследует и специальные задачи, заключающиеся: в выделении горизонтов, пластов, слоев, а иногда и массивов изверженных пород, пополняющих запасы солей озера; в определении проницаемости этих пород для подземных вод, приуроченности к ним водоносных горизонтов в изучении замещения поглощающего комплекса в глинистых породах; в выяснении картины засоления пород, их загипсованности, пиритизации; в исследовании зон и кор выветривания, почвенного слоя.

Гидрохимические исследования обычно сводятся к систематическому опробованию поверхностных и подземных вод и определению их химического состава при проведении гидрологических и гидрогеологических работ и наблюдений.

На первом этапе этих исследований выявляются характер распределения основных ионов в поверхностных и подземных водах по площади бассейна и изменение содержаний их по направлению к озеру, определяются специфические черты гидрохимии отдельных водоносных горизонтов и источников поверхностных вод, прослеживается изменение соотношений между ионами в разных частях района и по сравнению с рапой озера. На втором этапе выявляются характерные черты гидрохимического режима основных горизонтов и источников вод в годичном и многолетнем цикле, сезонные изменения содержаний и соотношений ионов, особенно на пути к озеру. Особое внимание уделяется горизонту грунтовых вод, а также обмену его водой и солями с поверхностными водами и другими водоносными горизонтами.

Сложными для изучения являются почвенные воды и воды из зоны капиллярного поднятия, а также обмен солями между ними и грунтовыми водами. В то же время результаты гидрохимического изучения этих вод могут быть весьма ценными для изучения переноса и накопления солей в бассейне озера.

Близкая связь гидрохимических особенностей вод в разных частях района с геохимическими особенностями пород, вмещающих эти воды, не вызывает сомнений, но пока она слабо изучена. Поэтому в каждом новом районе желательно собрать и сопоставить материалы по геохимической и гидрохимической характеристике его пород и вод.

Наблюдения за испарением и опытные работы

Для правильного суждения о режиме озера, направлении его развития и скорости протекающих в нем процессов необходимо с достаточной степенью приближения определить величину испарения. Определение ее опытным путем сложно, трудоемко и может рекомендоваться только на крупных объектах. Пока таких определений сделано мало, а данные по ним иногда противоречивы. Поэтому там, где проводятся наблюдения за режимом озера, подземными водами, метеорологическими факторами, где предусматривается штат

наблюдателей, на одном из постов следует рекомендовать проведение наблюдений за испарением.

На рапных озерах для этой цели могут использоваться испарители и методика наблюдений, принятые в Гидрометеослужбе. Иногда для этой цели сооружаются специальные испарительные бассейны, поскольку от площади испаряющей поверхности зависит точность результатов. Величина испарения в испарителях может определяться посредством систематического замера уровней, взвешивания испарителя с водой или рапой, (с пересчетом убыли в весе на испаряющую поверхность), прослеживания за изменением концентрации солей или температуры. Последнее мало приемлемо для рапы, близкой к насыщению солями, которые из нее могут выпадать с поглощением или выделением тепла. При проведении наблюдений следует учитывать, что испарение с поверхности рапы в большой степени зависит от состава и концентрации растворенных в ней солей и что концентрация солей в рапе испарителя быстро возрастает и становится значительно выше их концентрации в рапе озера; испарение же с поверхности испарителя уменьшается, и из рапы, близкой к насыщению, выпадают соли. Поэтому рапу в испарителе следует менять настолько часто, чтобы максимально уменьшить отклонения ее состава и концентрации от состава и концентрации в верхнем слое рапы озера, где существенную роль могут играть перемещения рапы за счет конвекции и других причин. Смену рапы лучше проводить через 2-3 дня, наполняя ею испаритель из верхнего слоя в озере.

Наблюдения лучше вести одновременно по двум испарителям, производя замеры или взвешивания на первом испарителе один раз, а на втором два раза в сутки (в 7 и 19 часов). Это позволяет получать более надежные средние и дополнительные данные о дневном и ночном испарении. Желательно проведение параллельных наблюдений за испарением в тех же условиях пресной воды, которые могут служить контрольным средством для сопоставления данных об испарении рапы озер с разным ее составом и концентрацией солей.

На «сухих» соляных озерах наблюдения за испарением с поверхности пласта соли почти не проводились, и надежных проверенных методов их проведения пока не выработано. Методика их проведения может быть заимствована из практики наблюдений за испарением на оз. Индер (Валяшко, 1952), или из практики аналогичных работ в Северном Приаралье.

Рекомендации по проведению этих наблюдений приведены в книге А. И. Дзенс-Литовского (1957). Они в основном могут быть приняты, исключая некоторые детали. Так, использование стейлянного сосуда круглой формы неудобно как из-за сложности изготовления и подгонки круглых монолитов правильной формы, которые в процессе наблюдения приходится менять неоднократно, так и из-за применения очень малотеплопроводного стекла. То же относится к рекомендуемым размерам и высоте монолита, которые необязательны, отверстию в центре (лучше его сделать с краю), точности взвешивания (0,1 г), не соответствующей точности проведения опыта при весе

монолита с испарителем $8-12~\rm kr$. По нашему мнению, испарители лучше изготовлять в виде ванночек глубиной $10-12~\rm km$ 15 см из белого металла, слабо поддающегося коррозии, но с высокой теплопроводностью, например из алюминия. Размеры можно взять $20~\rm K$ X $20~\rm cm$ и более, а взвешивание проводить с точностью до $5~\rm r$. Параллельно с указанными проводятся наблюдения за испаряемостью с открытой поверхности рапы и пресной воды. Рапу в ванночках с монолитами следует менять через $10~\rm gm$, с рапой в естественном состоянии через $2-3~\rm gm$, с водой — через $1-2~\rm gm$ в зависимости от интенсивности испарения. Рапу и воду перед их сменой желательно систематически, $1-2~\rm pasa$ в месяц, анализировать и состав их сопоставлять с составом рапы в озере.

Монолиты соли также приходится периодически заменять новыми, так как выпадающая из рапы соль может значительно изменить пористость монолита, а следовательно, и величину испарения с его поверхности.

Определения испарения с поверхности почв и грунтов применительно к соляным озерам до сих пор не проводились, тогда как они позволяют значительно уточнить водно-солевой баланс соляного озера.

При изучении испарения на участках берега с неглубоким залеганием грунтовых вод целесообразно использовать опыт исследователей, изучавших испарение с почв и грунтов в районах ирригации и мелиорации в основном с помощью лизиметров (Ковда, 1947) и реже — специальных бассейнов.

Кроме наблюдений за испарением в зависимости от назначения работ, важности и величины объекта и тех задач, которые поставлены перед исследователем, на соляных озерах также может быть организован разнообразный комплекс опытных работ.

- 1. Изучение испаряемости рапы разного солевого состава и с разной концентрацией солей. Подобные опыты проводились М. Г. Валяшко (1952) на оз. Индер. Желательно их повторить и расширить как по испарению с поверхности открытой рапы, увеличив количество разновидностей рапы по составу и концентрации, включая сложные смеси солей, встречающиеся на озерах разных типов, так и по испарению с поверхности пласта галита.
- 2. Опыты по изучению конвекции рапы. М. Г. Валяшко (1964) проводились опыты по струйному перемещению рассолов разной плотности с аквариумом, заполненным песком, подтвердившие возможность вертикального перемещения рапы в озерах. Эти опыты следует продолжить как в лабораторных условиях, так и на соляных озерах, изучая вертикальное перемещение рапы в результате увеличения ее плотности в верхних слоях при испарении и уменьшения в нижних слоях при сильных понижениях температуры и выпадении мирабилита.
- 3. Изучение перемещения рапы в пластах солей методом окрашивания. Такие опыты ставились, например, в Северном Приаралье с сафранином, но не были завершены.

- 4. Опыты по образованию тенардита и изучению основных условий, ускоряющих этот процесс. К таким условиям могут относиться: усиление прогрева поверхности пласта астраханита (за счет удаления большей части покрывающего его пласта галита на модели галитового озера, за счет загрязнения слоя галита углем, илом, золой); ускорение вывода из озера рапы, богатой хлоридом магния, откачкой или устройством котлована рядом с озером. На мирабилитовых озерах образование тенардита может быть вызвано искусственным понижением поверхности пласта мирабилита на небольшом участке до глубины, обеспечивающей сохранение на озере летом слоя поверхностной рапы мощностью 10-20 см, или систематической закачкой на поверхность пониженного участка рапы из галитового озера.
- 5. Опыты по созданию модели искусственного озера путем выемки небольшого котлована, вскрывающего грунтовые воды на участках неглубокого их залегания, и проведения систематических наблюдений за ним могут способствовать познанию процессов, происходящих в соляных озерах.

Таким образом, изучение режима соляного озёра в широком смысле этого слова включает не только исследование самого озера и происходящих в нем процессов взаимодействия его жидкой и твердой фаз, но и выявление всех воздействующих на его режим прямых и косвенных факторов, изучение их взаимозависимости. Это изучение сводится к установлению связи происходящих в озере процессов и их связи с внешними факторами, систематическим наблюдениям за ними и к проведению опытных работ. Следует отметить, что объем исследований, как правило, должен соответствовать объемам и масштабам основных работ по разведке и изучению соляного озера или их группы и тем задачам, которые поставлены перед исследователем.

Глава IV

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.

Производство большого количества разнообразных анализов, которые должны быть увязаны между собой, предопределяет необходимость разработки системы их проведения, обеспечивающей получение максимально возможной информации при минимальных затратах и определениях только действительно необходимых компонентов. Этой системой должна учитываться также нежелательность длительного хранения проб и их излишней транспортировки. Совершенно очевидно, что это обстоятельство обусловливает необходимость планирования места и времени проведения анализов.

В связи с тем, что на всех стадиях поисков и разведки очень важно получать своевременно результаты химических анализов, количество которых, как правило, очень велико, в большинстве случаев, целесообразна организация в полевой геологоразведочной партии полевой химической, а иногда и минералогической лабораторий.

Химические анализы

Разные отрасли промышленности предъявляют различные требования к содержанию в солях и рапе тех или иных компонентов. Эти требования обычно отражены в соответствующих ГОСТах или Технических условиях (ТУ). Поэтому химические анализы должны включать определения всех лимитируемых этими документами компонентов. Нередко считают, что химическими анализами в процессе разведки месторождения должны определяться только компоненты, лимитируемые ГОСТом или ТУ. Это положение следует отнести к разряду заблуждений, которые иногда приводят к неприятным последствиям. Оценка сырья, исходя из требований только одного ГОСТа или ТУ, суживает возможности комплексного его использования. В анализах, которые используются для промышленной оценки сырья месторождения, как правило, необходимо определение всех основных компонентов как рапы, так и солей.

Производство неполных или сокращенных анализов допустимо, а иногда и необходимо, для решения тех или иных частных задач, возникающих в ходе разведочных работ, (например, для выделения или определения границ более чистых или более загрязненных прослоев или линз с тем, чтобы в дальнейшем по более крупным интервалам осветить качество солей более полными анализами).

Применение сокращенных анализов бывает оправдано в том случае, если они производятся более быстрыми, простыми и дешевымиг методами, чем основные анализы.

В Инструкции ГКЗ (1961) указывается, что «в пробах галита требуется прямое определение содержания $Ca^{\cdot \cdot}$, $Mg^{\cdot \cdot}$, $C1^{\cdot \cdot}$, $S0_4^{\cdot \cdot \cdot}$, H_2O и нерастворимого в воде остатка. В тех случаях, когда поваренная соль имеет значительную примесь гипса, целесообразно определять нерастворимый в НС1 остаток. Содержание $Na^{\cdot \cdot}$ обычно определяется расчетным путем. В отдельных пробах определяется содержание $CO_3^{\cdot \cdot}$ НС $O_3^{\cdot \cdot}$ и железа.

Для характеристики состава и качества пластов сульфатных солей в пробах требуется производить прямое определение содержания Ca", Mg", Cl', SQ'', H $_2$ O и нерастворимого в HC1 остатка. Содержание Na $^\circ$ обычно определяется расчетным путем. В отдельных пробах определяется содержание CO $_3$ '' и HCO $_3$ '. При положительной качественной реакции в пробах иногда определяется содержание карбонатов кальция и магния.

При опробовании залежей содового сырья в пробах требуется прямое определение содержания $Ca^{\cdot\cdot}$, Cl^{\cdot} , SO_4 , $CO_3^{\cdot\cdot}$, $CO_3^{\cdot\cdot}$, $CO_4^{\cdot\cdot}$, $CO_3^{\cdot\cdot}$, $CO_4^{\cdot\cdot}$, $CO_3^{\cdot\cdot}$, $CO_4^{\cdot\cdot}$, $CO_3^{\cdot\cdot}$, $CO_4^{\cdot\cdot}$, CO

обычно расчетным путем. Учитывая необходимость комплексного изучения соляных озер, в части проб должно быть определено химическим анализом содержание Вг', В", К и др. При изучении озерных месторождений брома необходимо установить в рассолах, кроме концентрации брома, их солевой состав и щелочность».

С целью обеспечения единообразия в аналитических работах и возможности их сопоставления и использования не только для качественной характеристики, но и для суждения о процессах, происходящих в озерах, представляется целесообразным рекомендовать во всех основных пробах солей и рапы определять содержания $Ca^{\cdot \cdot}$, $Mg^{\cdot \cdot}$, Cl^{\cdot} , $SQ^{1 \cdot}$, H_2O и нерастворимого в воде и в HC1 остатка. В рапе определяется содержание плотного или сухого остатка. Следует обратить внимание на рекомендацию в Инструкции об определении содержания карбонатов кальция и магния в сульфатных солях, которое во многих случаях целесообразно делать и в пробах других солей, если качественное определение показало их наличие.

Рекомендацию Инструкции ГКЗ 1961 г. об определении содержания $\mathrm{CO_3}$ ' и $\mathrm{HCO_3}$ вединичных пробах в настоящее время приходится признать недостаточной. Простота этих определений, присутствие данных ионов почти в каждой пробе, а также существенная роль, которую они играют в процессах преобразования солей и метаморфизации рапы, по нашему мнению, заслуживают того, чтобы определять их во всех основных пробах солей, рапы, поверхностных и грунтовых вод. Представляется целесообразным в пробах определять оба иона как из-за возможного присутствия того или другого, так и из-за несовершенства методики химического анализа, в ходе которого пробы рассолов, близких к насыщению солями, приходится разбавлять в 2-5 раз водой. При этом разбавлении часть иона $\mathrm{HCO_3}$ обычно переходит в ион $\mathrm{CO_3}$ '.

Устарелой следует признать рекомендацию Инструкции ГКЗ об определении содержания иона натрия расчетным путем. Разумеется, в некоторых случаях такое определение можно считать допустимым. Однако за последнее десятилетие почти все лаборатории геологических управлений оснащены установками определения содержаний натрия и калия фотопламенным методом. Этот метод позволяет определять их содержания с достаточной для массовых анализов точностью. Производительность работы на установке значительно превышает производительность определений их классическими химическими методами.

Применение фотопламенного метода анализа дает возможность перейти к определениям содержания иона калия во всех основных пробах. Это диктуется необходимостью выяснения роли калия в процессе современного соленакопления и условий его миграции, которые дока во многом остаются невыясненными.

Особого внимания заслуживает бром, определение содержания которого следует проводить по достаточно большому количеству проб. В больших по запасам рапы соляных озерах обычно определяется также содержание бора и лития.

Основные методы определения компонентов солей, рапы и природных вод, используемых лабораториями геологической службы, изложены в работе «Анализ минерального сырья» (1956), к настоящему времени частично устаревшей и в работе ВНИИГа «Методы анализа рассолов и солей» (1964).

Представляет интерес определение в рапе, солях и илах содержаний многих редких и редкоземельных элементов, концентрация которых в рапе, солях и илах соляных озер пока почти не изучена, но условия для этого благоприятны.

Необходимо подчеркнуть важность правильного определения содержания в солях гигроскопической и кристаллизационной воды, без чего трудно правильно рассчитать содержание минералов с различным количеством молекул в составе последней. При этом в большинстве случаев определение гигроскопической воды приходится проводить не посредством нагревания проб до $105-110^{\circ}$, а посредством высушивания навески в эксикаторе или термостате при комнатной температуре. Нельзя не учитывать также, что некоторые соли теряют полностью кристаллизационную воду только при температурах, превышающих 360° .

В пробах рапы, отобранных по редкой сетке, желательно определение величины рН. Такие определения с помощью электропотенциометра лучше всего производить непосредственно на месте отбора пробы, так как указанная величина за время хранения пробы и даже доставки ее в лабораторию может значительно измениться.

Необходимость определения содержания в солях и рапе железа долгое время вызывала большие сомнения, так как считалось, что в условиях аридной зоны миграция его практически прекращается. Однако специфические условия, создающиеся в придонных частях соляных озер, особенно в слое ила, подстилающего солевую залежь, и ила на соровой полосе, где нередко создается восстановительная среда с низкими величинами рН, способствуют переходу железа из окисной, почти нерастворимой формы в закисную форму. Количество определений содержания железа в рапе и в солях, несмотря на то, что оно нередко лимитируется ГОСТами и ТУ, не должно быть большим. Иногда достаточно качественной реакции, доказывающей его отсутствие.

Если из рапы намечается извлекать бром, определяется содержание в рапе сероводорода. Это определение производится непосредственно на месте отбора пробы или с так называемой «зарядкой» пробы раствором ацетата кадмия, позволяющей транспортировать пробу до лаборатории и хранить ее.

При проведении анализов проб, представленных сравнительно чистыми солями, не всегда возникает необходимость специального изучения компонентов, нерастворимых в воде. Однако в процессе поисков и разведки отбираются и пробы солей, сильно загрязненных нерастворимыми в воде примесями, а также соленосных пород и илов с различным содержанием солей и гипса. Анализ таких проб целесообразно проводить по классической схеме, т. е. с получением из

навески испытуемой пробы водной вытяжки, из оставшегося после нее нерастворимого в воде остатка— солянокислой вытяжки; нерастворимый же в HG1 остаток после спекания его с содой изучается методами силикатного анализа.

В водной вытяжке обычно определяется содержание Ca $^{\cdot\cdot}$, Mg $^{\cdot\cdot}$, Na $^{\cdot}$, K $^{\cdot}$, SQ $_{_4}^{'\cdot}$, Cl $^{\cdot}$, HCO $_{_3}^{'\cdot}$, OQ $_{_3}^{'\cdot}$, Br $^{\cdot}$ B $_{_2}$ O $_{_3}$ и суммы ионов; определяется и содержание нерастворимого в воде остатка.

В солянокислой вытяжке обычно определяется содержание ионов Ca", Mg", SO $_4$ '' окислов алюминия и железа, B $_2$ O $_3$, щелочей и карбонат-иона, определяемого из отдельной навески. Содержания компонентов выражают в виде ионов, иногда в виде окислов. Щелочи определяются в связи с возможным наличием в породе плохо растворимых солей (полигалит, бораты и др.), а также в связи с тем, что щелочные силикаты в солянокислой вытяжке могут переходить в раствор.

В нерастворимом в HC1 остатке кроме компонентов, определяемых обычным силикатным анализом, определяется также содержание сульфидной серы.

Разумеется, в зависимости от степени загрязнения солей, состава примесей, назначения сырья и испытуемых проб выполняется большая или меньшая часть этого развернутого анализа. Однако эту схему анализа следует иметь в виду при изучении каждого нового месторождения.

При выборе компонентов, содержание которых намечено определять в водной или в солянокислой, или в той и другой вытяжках (например, сульфат-ион, ионы кальция и магния) при наличии в пробе больших количеств гипса или глауберита и др., необходимо учитывать то обстоятельство, что водная вытяжка делается в большом количестве воды, в 50-100 раз превышающем вес навески, а также и различную скорость и условия растворения различных солей, благодаря чему многие малорастворимые соли частично переходят в раствор. Некоторые из них растворяются очень медленно, другие разлагаются, как глауберит (на сульфат натрия и сульфат кальция), третьи резко изменяют растворимость при изменении температуры.

Организация полевой химической лаборатории, о необходимости которой уже упоминалось, не представляется очень сложной, если правильно ограничить ее функции, виды и количество возлагаемых на нее анализов. В ее функции обычно входит производство сокращенных, а также основных анализов рапы и солей, точнее той их части, которая позволяет ограничиться применением в основном объемных, трилонометрических и колориметрических методов анализов.

скопической воды, брома и т. д. Небольшую часть пробы солей, а иногда часть водной вытяжки из нее, как и часть пробы рапы, можно герметически упаковывать в небольшие склянки, пузырьки или полиэтиленовую тару и отправлять их в стационарную лабораторию для определения в них фотопламенным методом содержаний ионов натрия и калия. Это позволит сократить сроки производства анализов, даст возможность проводить поисковые и разведочные работы более целеустремленно, корректировать направление исследований в ходе полевых работ.

Очень важно правильно организовать работу полевой лаборатории, обеспечить ее электроэнергией, нагревательными приборами, дистиллированной водой, оборудовать рабочие места так, чтобы они позволяли химикам работать с полной нагрузкой, т. е. вести одновременно анализ 15-20 проб.

В Инструкции ГКЗ (1961 г.) указывается на необходимость систематического контроля работы химических лабораторий (как полевой, так и основной) за все периоды их работы; в контроль входит не менее 5% проб внутреннего контроля и не менее 5% проб внешнего контроля, выполняемого в лаборатории другой организации, чаще всего другого геологического управления. При значительной систематической погрешности необходимо проведение арбитражных анализов в лаборатории, на которую соответствующими организациями возложена эта обязанность. Введение поправочных коэффициентов в анализы при отсутствии арбитражных анализов не допускается.

Нередко контролируются не анализы в целом, а определения отдельных компонентов, чаще всего лимитируемых ГОСТом или ТУ. Такую систему нельзя считать удачной и полноценной, так как ею не используются дополнительные возможности контроля, в том числе и проверки самих контрольных анализов суммой определяемых содержаний компонентов в каждом анализе.

Результаты химических анализов солей выражаются в ионной форме и в пересчете на солевой состав, в весовых процентах, на основе которого в необходимых случаях (при разведке полиминеральных месторождений) производится вычисление минералогического состава солей, что в свою очередь контролируется минералогическими анализами.

Результаты анализов рапы (и воды, если она используется для освещения режима соляного озера) также выражаются в ионной форме с пересчетом на вероятный солевой состав, в вес. %, r/π , r/kr, %-экв., в молях солей на 1000 молей воды, что необходимо для нанесения точек их состава на диаграммы солевых систем.

Пересчет результатов анализов солей из ионной формы в солевую практически необходим во всех случаях. Он, как правило, производится работниками лабораторий. Однако геологу, изучающему озерное месторождение солей и процессы, происходящие в нем, необходимо знать порядок и методику пересчета, уметь проверить правильность расчетов анализов, определить их достоверность с точки

зрения возможности существования выявленной анализом комбинации солей в условиях конкретного озера.

С порядком пересчета результатов анализа соли из ионной формы в солевую можно ознакомиться в книге «Методы анализа рассолов и солей» (1964). В ней указывается, что пересчет или связывание отдельных ионов в соли производится в определенном порядке, отражающем в известной мере последовательность выпадения в осадок солей. При увязке катионов и анионов соблюдается следующий порядок: катионы Са", Мд", К, Na" последовательно увязываются в сульфатные соли, с сульфат-ионом, а остатки их в такой же последовательности увязываются в виде хлоридов с ионом хлора.

Эта схема пересчета может быть принята и для пересчетов солей озерных месторождений с небольшим дополнением, связанным с иным характером современных соляных отложений по сравнению с ископаемыми солями. Необходимым дополнением к ней, по нашему мнению, должна быть увязка ионов $\mathrm{CO_3}''$ и $\mathrm{HCO_3}'$ сначала с ионом Ca'' , а при его недостатке — с ионом Mg'' . При избытке иона Ca'' он, как и предлагается общей схемой, увязывается с сульфат-ионом в виде сульфата кальция. Содержание бикарбонат-иона в солях и рапе нередко достигает десятых долей процента, что вносит коррективы в распределение в солях иона кальция.

Место калия в расчетной схеме, если он содержится в значительных количествах, на каждом озере надо определять с помощью минералогических анализов проб солей этого озера.

Схема пересчета ионного состава на вероятный солевой состав рапы и воды приведена в работе М. Г. Валяшко (1964). В этой же работе приводятся и пересчеты данных анализа в весовых процентах в миллиграмм-эквивалентную и миллиграмм-эквивалент-процентную форму, а также в формы, применяемые для нанесения точек состава рапы на диаграммы солевых систем. Данная схема проверена длительным опытом изучения многих соляных озер и широко используется.

При производстве контроля анализов солей и рапы обычно возникает вопрос о допустимых погрешностях в определениях содержаний отдельных компонентов. Такие допуски для анализов внутреннего геологического контроля пока не разработаны. Для солей и рапы величина допуска нередко зависит не только от порядка содержания компонента (десятки, единицы, десятые, сотые доли процентов), но и от жесткости требований промышленности к его содержаниям. Жесткость допусков обусловливается в значительной степени технологическими особенностями добычи, обогащения и переработки сырья. Каждый из применяемых методов анализа обладает большей или меньшей точностью получаемых результатов. Поэтому следует подбирать методы анализа таким образом, чтобы они даже при самых малых содержаниях обеспечивали ту точность анализа, которая требуется заданной областью использования сырья.

Наиболее жесткие допуски применяются в тех случаях, когда содержания контролируемого компонента близки к лимитируемому

пределу его содержания или переходят через него, наименьшие, - когда они значительно выше или ниже этого предела.

Основной задачей внешнего геологического контроля анализов является выявление систематической ошибки в определениях содержаний контролируемых компонентов. В общем виде всякая систематическая ошибка недопустима и требует выявления и ликвидации порождающих ее причин. Это делается только после производства арбитражных анализов, которыми устанавливается, где допущена ошибка — в основной или контролирующей лабораториях. Однако величина этой ошибки может быть очень большой, влияющей на достоверность качественной характеристики, принятой по данным основных анализов, и очень маленькой, не имеющей практического значения.

Минералого-петрографические исследования

Минералого-петрографическое изучение солей соляных озер решает разнообразные задачи, среди которых можно выделить две основные: 1) установление минералогического состава солевых залежей соляных озер; 2) выявление петрографических, в частности структурных, особенностей слоев, прослоев и линз.

Способность солей, слагающих солевые залежи соляных озер, образовывать двойные соли и кристаллогидраты с разным количеством молекул воды приводит к тому, что химическим анализом не всегда удается установить, какими минералами слагается солевая залежь, каково соотношение основных минералов и минералов-примесей. Поэтому химические анализы солей большей частью сопровождаются минералогическими анализами.

Большая скорость накопления солей и процессов их преобразования, сопровождающихся изменением структурных форм кристаллов солей и появлением новых минеральных форм, предопределяет возможность с помощью петрографических исследований (по наличию новых минеральных форм, соотношению их с более старыми формами, минеральными и структурными, по характеру их срастания, прорастания и замещения) установить характер изменений, а следовательно, и процессов, происходивших в озере.

Производство минералогических анализов солей сопряжено со значительными трудностями, связанными с хорошей растворимостью солей в воде, этиловом спирте и многих иммерсионных жидкостях, с их гигроскопичностью или обезвоживанием на воздухе, низкой температурой плавления некоторых кристаллогидратов. Эти трудности начинаются еще в процессе доставки проб в лабораторию, их хранения, подготовки к анализу и требуют принятия специальных мер по сохранению стабильной температуры, изоляции проб от воздуха, измельчению при пониженном давлении или температуре. При подготовке проб к анализу в ряде случаев приходится вести их измельчение под эфиром.

Качественные определения в пробах большинства соляных минералов выполняются довольно часто. Получила некоторое распространение методика полуколичественного определения соляных минералов.

в капле воды, разработанная В. А. Вахрамеевой (1954). Но наиболее необходимым и пока слабо освоенным является количественный минералогический анализ.

Приготовление из солей шлифов практически неприменимо. Поэтому основным способом изучения минералогического состава солей остается исследование их в иммерсионных жидкостях.

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.). Наибольшие неприятности обычно доставляет встречающийся как в виде основного минерала пробы, так и в виде примеси мирабилит. Наличие в пробах неустойчивых минералов мешает определению содержаний не только их самих, но и других минералов. Поэтому одним из решений вопроса может быть отделение неустойчивых минералов от устойчивых на первой же стадии анализа и дальнейшее их раздельное исследование. Такое разделение возможно в тяжелый жидкостях.

И. В. Тунцовой (1953) разработана методика количественного минералогического анализа солей, использованная в 1350-1957 гг. при аналиве содей соляных озер в Северном Приаралье и других районах. В основу методики положена разделение пробы в тяжелых жидкостях, обеспечивающих отделение устойчивых минералов от неустойчивых и разделение минералов с близкими оптическими свойствами по удельному весу: В выделенных фракциях производился подсчет отдельных минералов под микроскопом в иммерсионных жидкостях.

Тяжелые жидкости необходимого удельного веса получались смешением бромоформа и очищенного керосина. В качестве промывных жидкостей использовались эфир и ацетон. Иммерсионными жидкостями служили смеси машинного и часового масел с показателями преломления 1,487 и 1,485, костяное масло -1,473, смеси ацетона с толуолом -1,437; 1,413 и 1,407.

Величины удельных весов минералов позволяют выделить мирабилит в легкую фракцию в жидкости с удельным весом 1,62. Иногда в жидкости с удельным весом 1,82 выделялась вторая фракция, представленная эпсомитом. В самую тяжелую фракцию возможно выделение тенардита.

Минералы тяжелой фракции дополнительно измельчались под эфиром (в зависимости от характера прорастания зерен до 0,2-0,1 мм), промывались ацетоном и сушились эфиром. Дополнительно измельчался (от 0,5 до 0,2 мм), просматривался под микроскопом и сушился под эфиром и мирабилит. Легкая и тяжелая фракции взвешивались.

Если в пробе содержался глауберит, то после удаления из сосуда всплывшего в тяжлой жидкости мирабилита жидкость не сливалась с осевшей на дно тяжелой фракцией, а минералы последней перемешивались стеклянной палочкой до оседания кашеобразного глау-

берита на стенки сосуда. После удаления из него жидкости и тяжелой фракции оставшийся на стенках глауберит собирался в фарфоровую чашку, промывался ацетоном, высушивался и взвешивался.

В тяжелой фракции определялось содержание остальных минералов. Для этой цели из нее приготовлялись препараты в иммерсионной жидкости. Подсчет проводился, как правило, в 50 полях па микрометрической окулярной линейке, только с ее левой или правой: стороны, замером отрезков зерен.

Следует подчеркнуть, что работы с тяжелыми жидкостями можно проводить только при наличии в лаборатории вытяжного шкафа.

Методика, предложенная И. В. Тунцовой и проверенная в условиях полевой и стационарной лабораторий в течение ряда лет, является первой методикой такого рода, примененной для минералогического анализа озерных солей.

Иногда возможно ограничение функций полевой лаборатории: производством первых стадий количественного минералогического анализа, заключающихся в отделении и определении содержания таких неустойчивых минералов, как мирабилит. Определение содержания в пробах остальных, более стабильных соляных минералов может проводиться в стационарной лаборатории, в которую выделенная их фракция может отправляться в бюксах или полиэтиленовых мешочках с заваренным швом.

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

Определение объемнй 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, а тем более с добычей целика соли в условиях озера, где она пропитана рапой или залегает под ее слоем, очень пориста и слишком легко рассыпается на отдельные сростки и кристаллы, а проходка шурфов затруднена из-за осыпания или оплывания их стенок. Известную путаницу в этот вопрос вносят различные, не всегда правильные или неточные рекомендации. Это относится, в частности, к рекомендациям по определению объемнй массы соляных пород и отложений в книге «Методы анализа рассолов и солей». Недостаточно четка этот вопрос освещен и в книге А. И. Дзенс-Литовского (1957).

Рекомендуемые в первой из работ определения объемий массы отложений, пропитанных рапой, интереса не представляют, так как в озерах раздельно подсчитываются и добываются запасы твердых солей и рапы, для которых необходимо раздельное определение объемий массы, пористости твердых солей (без рапы) и плотности

рапы. Столь же малоприемлема содержащаяся в этой работе рекомендация о расчете объемни массы соли по ее минералогическому составу или посредством взвешивания в жидкости образца без парафянирования. Рекомендация об определении объемни массы соли из оз. Бурлинского путем насыпания тщательно перемешанной соли в бюкс с последующим взвешиванием относится к определению ее насыпного веса и не может претендовать на приближение к истинному объемному весу новосадки, старосадки и гранатки рапных озер.

Наиболее приемлемым определением объемной массы соли является выемка ее из шурфа с тщательно выровненными стенками и забоем шурфа и точный замер мощности ее слоя, из которого извлекается целик. Соль извлеченная из шурфа, взвешивается здесь же на десятиричных весах. Объем пространства, из которого извлечена соль, тщательно замеряется. Межкристальной рапе, захваченной при выемке соли, дают стечь перед взвешиванием каждого ящика. При каждом взвешивании из соли отбирается в полиэтиленовый мешочек или стеклянную банку проба на определение естественной влажности и немедленно направляется в лабораторию. Однако проходка таких шурфов возможна только на «сухих» озерах, когда пласт соли достаточно устойчив. На озерах с несколькими пластами солей таким способом удается определить объемную массу только верхнего пласта соли.

Для определения объемнй массы рыхлых разностей, в том числе и гранатки галита, можно применять проходку шурфов с забивной крепью типа шпунта или забивать в пласт стальной тонкостенный ящик без дна с острой режущей кромкой. Размеры его могут быть равными 20×30 , 30×30 , 30×40 см и крупнее. Для облегчения погружения ящика в пласт желательно создать тем или иным путем вибрацию его стенок.

Для глубоко залегающих слоев соли или солевой залежи, залегающей под слоем рапы, определение объемной массы возможно главным образом в результате бурения скважин и извлечения из них керна или материала, образовавшегося при разбуривании пласта непрочной соли. После извлечения из колонковой трубы столбиков керна с ненарушенной структурой пласта они очищаются от измельченного материала, обертываются бумагой (лучше марлей) и парафинируются. Объемная массы породы определяется посредством обычного гидростатического взвешивания керна в воде или керосине. Необходимо проведение большого количества определений, охватывающих все основные разности соли. Желательно параллельное выполнение химических анализов, определение влажности керна на тех же запарафинированных столбиках после их взвешивания.

Если пласт соли представлен рыхлыми, легко распадающимися на сростки и кристаллы разностями, бурение скважин производится с большими предосторожностями. К числу последних относятся: тщательная фиксация кровли и подошвы пласта, обсадка трубой вышележащих слоев солей и рапы, проходка изучаемого слоя в один подъем, бурение с минимальным числом оборотов снаряда в минуту,

тщательное заклинивание керна. Возможно применение для этой цели забивйого стакана, грунтоноса. Применяется для этого и желонка с одновременной обсадкой труб, но она дает наименее точные результаты. При извлечении соли из колонковой трубы или желонки перед взвешиванием необходимо дать стечь свободной рапе, а при взвешивании отобрать и герметически запаковать пробу для определения естественной влажности, химического и минералогическогвсостава соли. При расчете объема, из которого извлекалась соль для определения объемнй массы, при колонковом бурении следует учитывать уплотнение соли в процессе бурения и средний диаметр коронки. Необходимо применять большой диаметр скважин (не менее $127-164\,$ мм).

В зависимости от условий намечаемой разработки соляного озера требуется определение физико-механических параметров солевой залежи озера, связанных с ее несущей способностью, возможностью перемещения по ней различных механизмов, прокладки рельсовых путей, воздействия на нее различных вибраций, применения режу-, щих орудий. Исследования эти нередко носят специфический характер и не всегда имеют примеры в прошлом.

В некоторых случаях большое значение имеет определение гранулометрического состава солей, особенно рыхлых (гранатки га лита или рыхлого мирабилита).

Изучение технологии обогащения и переработки солей и рапы

В процессе геологоразведочных работ проводятся разнообразные технологические исследования. К ним относятся лабораторные и полузаводские или промышленные испытания, проводимые с целью разработки технологической схемы обогащения и переработки солей и рапы или проверки возможности использования их на уже действующем оборудовании и выяснения основных показателей технологического процесса.

Испытания проводятся в лабораторных условиях, на опытных установках или на действующих предприятиях. Вопрос об объеме этих исследований, количестве и весе проб, необходимости проведения полузаводских или заводских испытаний решает проводящая технологические испытания специализированная организация, которая дает оценку технологических свойств сырья и заключение о возможности его использования. Обычно такое заключение выдается головным научно-исследовательским институтом и согласовывается с проектирующей организацией.

Лабораторные технологические исследования проводятся на пробах, характеризующих типичные, близкие к средним показателе качества и остальных параметров каждой разности солей. Во многих случаях необходимо проведение испытаний на пробах с более высоким содержанием примесей или более низким содержанием основного вещества. Это необходимо для установления предела, при

котором сырье еще может эффективно использоваться по выбранной технологической схеме.

Полузаводские или промышленные 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. Иногда отбирается также проба с качеством соли, близким к допустимому пределу, с тем, чтобы проверить возможность получения из нее кондиционного продукта.

Нежелательно проведение испытаний по средним, или генеральным, пробам, отобранным из многих выработок в разных частях месторождения, представительность которых часто невозможно установить.

Большое значение для подбора проб на технологические испытания и определения их представительности имеет изучение вещественного состава солей по редкой сети разведочных выработок. Это изучение включает разделение проб на фракции по величине зерен или кристаллов, изучение химического и минералогического 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 и -3 мм.

В озерах, где пласт солей покрыт или пропитан рапой, возможно применение простейших способов обогащения, заключающихся 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, их распределения 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; соотношения скорости растворения галита и сопутствующих ему растворимых в воде примесей; условий разрыхления новосадки, старосадки и гранатки; необходимой интенсивности промывки рапой и водой. Специальные испытания по условиям разработки, дробления и обогащения за счет удаления примесей необходимы для «чугунки». В тех случаях, когда на изучаемом соляном озере работает солесос или солекомбайн, определение характера и степени обогащения галита при добыче его солесосом можно произвести 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 на специальной установке на берегу озера, приходится отбирать крупную валовую пробу весом до нескольких десятков тонн и исследовать ее на опытной или промышленной обогатительной установке на одном из солепромыслов.

Подобные примеры обогащения, а следовательно, и технологических исследований могут быть применены и в отношении пластов мирабилита, в разной степени загрязненного нерастворимыми примесями или гипсом.

Озерные месторождения сульфатных солей сравнительно редко слагаются пластами чистых мономинеральных разностей. Большей частью они представлены несколькими пластами разного минерального состава. Использование их, как правило, возможно только после глубокого обогащения и выделения солей в чистом виде. Средством такого обогащения является искусственно вызываемая перекристаллизация солей. Она заключается в растворении сырых солей, отделении от них нерастворимых в воде примесей и значительной части гипса и высаживании из раствора соли необходимого состава.

Изучение основных параметров процесса перекристаллизации и разработка его технологической схемы обычно производятся на основе определения химического состава сульфатных пластов и путей кристаллизации солей с использованием изотермических и политермических диаграмм равновесных солевых систем. С помощью этих диаграмм определяются условия получения из растворов солей заданного состава, необходимый термический режим процесса и соотношение в растворе необходимых компонентов.

Однако эти расчеты, дающие, как правило, реальные параметры течения процесса перекристаллизации и его конечных результатов, не могут выявить целого ряда показателей, зависящих от скорости растворения различных ролей, физических свойств примесей, их способности к коагулированию и скорости их осаждения в отстойниках, способности некоторых солей образовывать пересыщенные растворы и ряда других факторов, влияние которых может быть выявлено и оценено только технологическими испытаниями. Задачей геолога является отбор и доставка технологических проб, представительных не только по химическому и минералогическому составу, но и по их физическим и физико-механическим свойствам. Поэтому измельчение и квартование первичных проб для получения средней пробы являются нежелательными.

Лабораторные или полупромышленные испытания включают самые разнообразные исследования. Среди них можно отметить: изучение процесса растворения сырья в растворителях разных систем при различной степени его измельчения и разных режимах растворения; изучение условий отделения нерастворимых в воде и получаемом растворе примесей; изучение процессов смешения растворов различного состава; изучение условий кристаллизации солей, их высаливания, обезвоживания, освобождения от соосаждающихся с ними примесей.

Технологические испытания рапы производятся реже испытания твердых солей, обычно только в тех случаях, когда появляется необходимость в отработке и проверке принципиально новой технологической схемы переработки в аппаратурном оформлении. Для этой цели используются и синтетическая, и природная рапы.

Глава V

ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (КОНДИЦИИ)

Легкорастворимые соли используются в самых различных отраслях хозяйства и промышленности. Наиболее широкое применение по масштабам и областям использования имеют поваренная соль, сульфат натрия, сода, меньшее — хлорид и сульфат магния.

Большая часть поваренной соли — галита, добываемой на соляных озерах, используется для пищевых целей, несколько меньшая — химической промышленностью и сравнительно небольшая часть в многочисленных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Многообразны и области использования сульфата натрия, в которых основное место занимают: стекольная промышленность; производство моющих средств, лакокрасочная и другие отрасли химической промышленности; целлюлозно-бумажная промышленность; медицина и ветеринария; холодильное дело и другие области народного хозяйства. Природная сода, добывающаяся в небольших количествах, используется в основном для производства моющих средств.

ГОСТы и Технические условия на соли и рассолы

Разнообразные области использования озерных солей предопределяют и значительные различия в требованиях к их качеству в зависимости от назначения. Эти требования обычно отражаются в ГОСТах и Технических условиях на сырье или продукты обогащения, поставляемые горно-добывающими и горнообогатительными предприятиями.

Таблица 10 Содержание (в % на сухое вещество) компонентов поваренной соли

Компоненты		Сорта			
		Экстра	Высший	Первый	Второй
$\begin{array}{c} \text{NaCl} \\ \text{H. o.} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{SO}_4 \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \\ \text{Na}_2\text{SO}_4 \end{array}$	Не менее Не более » » » » » » » »	99,7 0,03 0,02 0,01 0,16 0,005 0,2	98,4 0,16 0,35 0,05 0,80 0,005 0,5	97,7 0,45 0,50 0,10 1,2 0,01 0,5	97,0 0,85 0,65 0,25 1,5 0,01 0,5

Технические условия утверждаются соответствующими министерствами и ведомствами и являются обязательными для предприятий-поставшиков.

Для оценки качества поваренной соли применяется ГОСТ 13830-68 на соль поваренную пищевую, введенный в действие с 1/1 1970 г.

взамен ГОСТа 153-57. Требованиями ГОСТа 13830-68 к разным сортам соли охватываются не только пищевая, но и другие отрасли промышленности, дополняющие их отдельными важными для этих отраслей показателями.

ГОСТом 13830-68, по сравнению с ранее действовавшим ГОСТом 153-57, существенно повышены требования к качеству соли. Значительно уменьшено допустимое содержание в пищевой соли ионов кальция и магния, нерастворимых в воде веществ, окиси железа; ограничено содержание в ней сульфат-иона; увеличено минимальное содержание в соли хлорида натрия (табл. 10).

Содержание в соли иона калия допускается только для выварочных заводов Западной Украины и калийных комбинатов в количестве до 0,42%.

МРТУ 6-01-68-66, утвержденными Министерством химической промышленности, в поваренной соли, предназначенной для производства хлора и едкого натра диафрагменным методом электролиза, допускается содержание NaCl не менее 97,5%, ионов Ca $^{\circ}$, Mg $^{\circ}$, SO $_4$ " не более соответственно 0,4; 0,05; 0,84%, иона К $^{\circ}$ не более 0,20% и н. о. не более 0,5%. Для производства хлора и едкого натра методом электролиза с ртутным катодом содержание в соли иона калия не должно превышать 0,02%.

ТУ Минхимпрома в поваренной соли для производства соды допускается содержание NaCl не менее 97,3%; ионов Ca $^{\circ}$, Mg $^{\circ}$, SO $_4$ $^{\circ}$, K $^{\circ}$ соответственно не более 0,63; 0,1; 1,26 и 0,63%.

о не оолее U, оз; U, 1; 1, 20 и U, оз 6. Таблица 11 Содержание компонентов в сульфате натрия

	(в % на сухое вещество)								
	Компоненты		Сорта						
Компоне			Первый	Второй					
Na ₂ SO ₄ NaCl CaSO ₄ Fe ₂ O ₃ H. о. Влага	Не менее Не более » » » » » »	99,3 0,2 0,05 0,01 0,5 0,5	97,5 1,0 0,5 0,01 1,5 3,0	94,0 2,0 1,0 0,03 4,5 7,0					

Технические условия на рассолы, предназначенные для производства хлора, едкого натра, соды и пищевой выварочной соли, обычно корреспондируются с требованиями для тех же назначений к поваренной соли, за исключением нерастворимых примесей, не содержащихся в рассоле. Рапа соляных озер для этих целей не используется из-за повышенного содержания в ней иона магния и сульфатиона. Использование озерной рапы возможно только комплексное.

Качество сульфата натрия, применяемого в разных отраслях промышленности, оценивается по ГОСТу 6318-68 на натрий сернокислый, введенному в действие с 1/1 1969 г. взамен ГОСТа 6318-52 (табл. 11).

ГОСТ 6319-52 на натрий сернокислый, медицинский (глауберову соль) определяет требования к мирабилиту или десятиводному сульфату натрия.

Кроме ГОСТов используются различные ВТУ и ТУ, как правило, допускающие выпуск продукции, не по всем показателям отвечающей требованиям ГОСТов.

В производстве стекла большая часть примесей к сульфату натрия не оказывает вредного воздействия на технологический процесс. Значительно важнее выдерживать постоянный состав сульфата натрия с отклонениями в содержаниях примесей, не превышающими 0,5-1,0%. Так, техническими условиями «Главстройстекла» для комбината «Аралсульфат» допускалось содержание в готовом продукте (обезвоженном сульфате натрия) не менее 86% $\mathrm{Na}_2\mathrm{SO}_4$, не более 3% NaCl , не более 4% CaSO_4 и не более 7% нерастворимых примесей. В тенардите допускалось содержание MgSO $_4$ до 3%. В этом случае не было необходимости доводить качество готового продукта до пределов, лимитируемых ГОСТом 6318-68, поскольку это значительно удорожило бы его.

Требования ГОСТа или ТУ к поставляемой предприятиями продукции нельзя механически переносить на сырье в недрах, которое в процессе добычи, а иногда и на обогатительной фабрике обогащается, существенно изменяет свой состав и по содержанию основного вещества и по содержанию и соотношению примесей к нему.

Природная сода озерных месторождений используется промышленностью в очень небольшом количестве. Качество ее должно отвечать требованиям Γ OCTa 5100-64.

При большом разнообразии соляных озер, обладающих специфическими особенностями состояния и качества солей и рассолов, кроме технических условий на выпускаемую предприятиями продукцию, составляются кондиции на минеральное сырье в недрах, при соблюдении которых из этого сырья может быть получена продукция, удовлетворяющая требованиям ТУ и ГОСТов.

Кондиции на минеральное сырье

Ориентировочная промышленная оценка, основанная главным образом на аналогиях, дается озерному месторождению солей после проведения поисковых работ для решения вопроса о целесообразности проведения на этом месторождении предварительной разведки.

По материалам предварительной разведки составляются ТЭД и временные кондиции, которыми предусматриваются требования к качеству сырья и к горногеологическим условиям разработки месторождения с учетом установленной ТЭДом рентабельности.

Основная экономическая оценка месторождения с целью утверждения его запасов в ГКЗ СССР производится после проведения де_

тальной разведки и всего комплекса гидрохимических, гидрогеологических, гидрологических и технологических исследований, а также после установления достаточной стабильности запасов на срок намечаемой эксплуатации, которые позволяют заменить большую часть показателей, принятых по аналогии, прямыми технико-экономическими расчетами.

В отличие от ГОСТов и ТУ, предусматривающих допустимые содержания полезных компонентов и примесей в готовой продукции, кондициями на минеральное сырье, находящееся в недрах, лимитируются такие содержания основного вещества и примесей, которые должны обеспечивать получение готовой продукции, отвечающей требованиям ГОСТа или ТУ.

Применительно к озерным месторождениям солей в кондициях предусматриваются минимальное промышленное и бортовое содержание полезных компонентов и максимально допустимое содержание вредных примесей; минимальдая мощность тела полезного ископаемого, реже коэффициент вскрыши; максимальная мощность прослоев некондиционных солей и несолевых пород; требования к выделению типов и сортов солей. В рапе или рассолах обычно лимитируются содержания полезных компонентов и вредных примесей, концентрации солей, иногда дебиты эксплуатационных скважин.

Экономическая оценка озерных месторождений солей по сравнению с оценкой других полезных ископаемых имеет специфические особенности, связанные с хорошей растворимостью солей, сезонными переходами части их в жидкую и обратно в твердую фазу, наличием в озере рапы и твердых солей, большим разнообразием соляных озер, расположением их нередко в труднодоступных и малонаселенных районах. Эти особенности предопределяют возможность применения весьма различных и своеобразных способов добычи и обогашения солей.

Наличие в озере жидкой и твердой фаз почти во всех случаях требует выбора между добычей твердых солей или забором рапы, а на некоторых озерах — между забором поверхностей и межкристальной рапы. Результаты этого выбора коренным образом меняют не только лимитируемые показатели кондиций, но и возможности получения того или иного ассортимента и качества солей. Разумеется, такой выбор требует подкрепления технико-экономическими расчетами только в тех случаях, когда в соляном озере сосредоточены достаточно большие запасы рапы или имеется возможность ее восполнения за счет поверхностных или грунтовых вод, а возможность восполнения солей в ней — за счет растворения твердых соляных отложений. Такой выбор осуществляется, например, на оз. Кучуке и в заливе Кара-Богаз-Гол соответственно между поверхностной рапой и пластом мирабилита, или между поверхностной и межкристальной рапой.

Специфическим способом разработки соляных озер является добыча соли солесосами или солекомбайнами, сопровождающаяся

обогащением соли в процессе ее добычи. Применение этого способа позволяет использовать соль, содержащую до 20% нерастворимых примесей, и получать из нее продукт в пределах требований ГОСТа на пищевую соль.

Но этот способ почти не освобождает соль от растворимых примесей. Поэтому для определения минимального содержания основного компонента при применении этого метода очень важно устанавливать состав примесей к соли и их соотношение.

Выделение и селективная разработка прослоев некондиционных солей или других пород (чаще всего представленных илом) очень сильно усложняют эксплуатацию месторождений и допустимы только в качестве крайней и нежелательной меры. На многих соляных озерах вскрышные породы отсутствуют, и этот показатель кондиций не имеет существенного значения. Однако там, где имеется вскрыша из солей или ила, она на многих озерах практически исключает возможность добычи твердых солей, заставляет ограничиваться добычей из них поверхностной или межкристальной рапы лишь с последующим выделением из нее твердых солей. К кондициям следует относить и оптимальную мощность добывающего предприятия, при которой эксплуатация озера не вызывает катастрофических изменений в его режиме, качестве соли и рапы. Пока этому вопросу не уделялось должного внимания.

Комплексное использование озерных месторождений солей

В условиях соляного озера, заключающего взаимосвязанные рапу и твердые соли, подверженного сезонным и периодическим изменениям их состава, количества и состояния и воздействию разнообразных внешних факторов, вопрос о комплексном освоении месторождения является достаточно сложным и многосторонним.

Комплексное освоение озерного месторождения может включать одновременное или последовательное использование солей жидкой и твердой фаз; разработку нескольких пластов солей разного состава для различных потребителей (например, пласта галита и подстилающего его сульфатного пласта); использование твердых солей или рапы для получения из них путем последовательного выделения нескольких солей разного назначения; использование хвостов и маточников после обогащения или переработки солей и рапы; извлечение попутных компонентов из солей или рапы; использование добытой или полученной обогащением соли в различных отраслях народного хозяйства.

Наличие в рапе большинства соляных озер хлоридов и сульфатов натрия и магния (а иногда и брома, калия, бора) определяет преимущество комплексного использования откачиваемой из озера поверхностной или межкристальной рапы по сравнению с получением из этой рапы только одной соли. Но такое комплексное использование рапы пока осуществляется только на Крымских солепромыслах, где из нее извлекаются поваренная соль, бишофит, бром. На крупнейшем озерном месторождении Кара-Богаз-Гол, где уже много лет ежегодно откачивается по нескольку миллионов кубометров межкристальной рапы, извлекаются в основном сульфат натрия и в последние годы в небольшом количестве эпсомит и бишофит.

При кажущейся очевидности преимуществ комплексного использования рапы, которое диктуется дефицитом извлекаемых из нее большинства продуктов и более высокой экономичностью технологии получения широкого ассортимента продукции, на пути внедрения комплекса в производство возникают затруднения. К таким трудностям можно отнести, например, большую удаленность Кара-Богаз-Гола от промышленных центров и тяжелые транспортные условия, ограниченность в районе его расположения электроэнергии, топлива и воды. Играет роль и большая разница в ценах на разные продукты, получаемые при комплексной переработке рапы. Так, если производство сульфата натрия при его сравнительно высокой оптовой цене может быть вполне рентабельным, то цена на поваренную соль из-за высокой себестоимости ее добычи получается слишком большой. Это указывает на необходимость осторожного и тщательного подхода к определению оптимального комплекса продуктов, который может быть получен из рапы в условиях конкретного месторождения при экономической оценке последнего.

Не вызывает сомнения целесообразность использования одновременно пласта галита и подстилающих его сульфатных пластов. Однако пока это не осуществляется ни на одном месторождении.

Вольшим и сложным вопросом комплексного освоения озерных месторождений солей, заключающих рапу и твердые соляные отложения, является обоснование выбора способа добычи солей в виде твердых солей или в виде рапы, а также возможность сочетания их на одном озере. Этот вопрос редко возникает при эксплуатации сравнительно небольших озер, где запасы рапы невелики, или при эксплуатации очень больших объектов, таких, как Кара-Богаз-Гол, где благодаря большой акватории возможно сочетание забора рапы и добычи твердых солей на достаточно удаленных участках. В этой связи уместно отметить, что предметом спора является вопрос с многолетней историей: использовать ли поверхностную или межкристальную рапу погребенного пласта солей для получения из нее всего комплекса компонентов. Для окончательного решения этого вопроса пока недостаточно материалов, позволяющих сопоставить последствия выбора того или иного источника рапы.

Наряду с положительным эффектом комплексного освоения озерных месторождений и использования солей при определении характера и степени комплексности нельзя не учитывать возможности проявления некоторых неблагоприятных последствий, связанных с недостаточной изученностью взаимосвязи рапы и твердых солей, гидрохимического и гидрологического режима озера, условий его питания.

Глава VI

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов солей и рапы основывается на результатах разведки озера, наблюдений за его режимом и изучения воздействующих на его режим и развитие факторов, на данных лабораторных анализов и исследований, полузаводских испытаний и опытных работ, сопоставления и камеральной обработки всех собранных и полученных из лабораторий материалов, на материалах, обосновывающих экономическую оценку и показатели кондиций на сырье. К исходным данным относятся: документация разведочных работ, изучения сырья и соляного озера, топографическая основа, графические материалы, расчеты средних мощностей и содержаний компонентов.

Документация выработок, анализов, испытаний, наблюдений

Увеличивающиеся объем и глубина исследований объектов разведки, возрастание количества выработок, отбираемых проб, различных анализов, испытаний, технологических и других исследований приводят к накоплению по каждому объекту все большего количества фактических материалов, требующих обработки, сопоставления, сравнения с другими объектами, на основе которых даются их определенная интерпретация и промышленная оценка месторождения.

Большие объемы документации, ее громоздкость и сложность работы с ней заставляют ее упрощать и стандартизировать, применять все новые способы ее обработки, привлекать методы математической статистики. Этот процесс неизбежен, необходим и полезен. Однако при этом нельзя не учитывать и возможность чрезмерного упрощения и введения примитивизма, в результате которых может сильно ухудшаться качество документации и могут быть утрачены многие первичные данные. Это особенно опасно в отношении озерных месторождений солей, к повторному обследованию и изучению которых приходится прибегать через каждые 10-15 лет.

Сравнительно нередки попытки создать жесткие трафареты для документации горных выработок и скважин, заменить журналы геологической документации колонками с условными значками, исключить из таблиц результатов анализов (или вообще не определять) компоненты, не лимитируемые ГОСТом или ТУ, сумму анионов и катионов и т. п. Такие «усовершенствования» нельзя признать оправданными и заслуживающими внедрения. Разумеется, колонки как графические построения, иллюстрирующие наличие и сочетание определенных показателей и признаков, очень удобны для сравнений и анализа, как и графики любых наблюдений. Отказываться от этих графиков и колонок не следует, но и нельзя ими полностью заменять первичную документацию. Столь же нежелательна замена творческого описания заполнением трафаретов. Вместе с этим в послед-

ние годы появляется тенденция к исключению из отчетов о разведке всей первичной документации, к замене ее сокращенными и обобщенными описаниями. Такие обобщения, сделанные исследователями, не дают возможности проверить, насколько правильно выделены слои и пласты, проведены границы между ними и как они соответствуют строению солевой залежи.

В связи с тем, что первичная документация в последнее время не прилагается к отчетам о геологоразведочных работах, которые сдаются на хранение в $\mathrm{B}\Gamma\Phi$, в ряде случаев значительно ухудшилось ее качество, понизилась требовательность к ее полноте и содержанию, что нельзя признать нормальным. Как известно, многие соляные минералы прозрачны и бесцветны, нередко имеют сходный облик и хорошо различаются только после приобретения известного навыка, который, однако, также не гарантирует полностью от ошибок. В этой связи целесообразно названия минералов в первичной документации, прилагаемой к отчету, корректировать данными химических анализов и минералогических исследований солей под микроскопом.

В прилагаемых к отчету с подсчетом запасов журналах документации выработок обязательно должна быть указана дата заложения каждой выработки, выделены все места и интервалы отбора проб на анализы и испытания, обозначены интервалы, включенные в подсчет запасов.

Журналы опробования к настоящему времени почти утратили свое самостоятельное значение и практически стали составной частью таблиц анализов, занимая в последних графы с номерами выработок, проб, интервалами опробования, начальным и конечным весом проб и указанием лаборатории, которая производила анализы.

Основой оценки качества солей являются химические анализы. Таблицы химических анализов должны быть обязательной составной частью отчета. В отчет следует включадь анализы полностью, с содержаниями всех компонентов, определявшихся лабораторией. Это диктуется необходимостью сохранить аналитический материал для дальнейших исследований и сопоставлений, комплексной оценки месторождения при дальнейших исследованиях. В таблицах результатов анализов солей и рапы должны приводиться содержания компонентов в ионной и солевой форме, их сумма, применительно к солям включающая нерастворимый остаток, применительно к рапе, кроме суммы солей или ионов, - и сухой или плотный остаток, позволяющий выявить размеры потери вещества в процессе анализа или наличие в рапе заметных содержаний компонентов, не определявшихся анализом. Расчет анализа солей, как правило, должен производиться на сухое вещество. Содержание гигроскопической влаги выносится за 100%. Во многих случаях, особенно в результатах анализов сульфатных солей, при наличии в них нескольких кристаллогидратов (например, мирабилита, астраханита, эпсомита и безводных тенардита и глауберита) содержание кристаллизационной воды очень изменчиво, а в соответствии с ним может резко

колебаться и содержание солей и ионов так, что трудно установить соотношение между ними. В таких случаях целесообразно выносить за 100% не только гигроскопическую влагу, но и кристаллизационную воду.

Анализы солей всегда рассчитываются на вес. %, анализы рапы выражаются в г/л, г/кг, вес %, в г-экв и в %-экв. В связи с тем, что анализы рапы используются для подсчета ее запасов, содержащихся в ней компонентов и для определения направления ее изменений и путей развития озера, результаты анализов рапы в отчете следует приводить в г/л, вес % и %-экв.

Таблицы результатов анализов кроме их привязки в виде индексов выработок, номеров проб, интервалов их отбора должны содержать сведения об условиях и времени отбора проб, а пробы рапы — ее температуру и плотность при отборе и выполнении анализа. Расположение результатов анализов в таблицах должно быть таким, чтобы их можно было легко отыскивать и сопоставлять с другими материалами отчета.

Подсчет запасов солей и их качественная характеристика (особенно солей сульфатных) основываются также на результатах минералогических полуколичественных и количественных анализов. Поэтому таблицы минералогических анализов являются обязательной составной частью отчета, в некоторых случаях имеющей самостоятельное значение для подсчета запасов отдельных минералов.

К отчету прилагаются таблицы результатов испытаний и наблюдений. Эти данные являются необходимыми в отчетах, где в качестве основного полезного ископаемого выделяется поверхностная или межкристальная рапа, запасы которой претерпевают в течение года и в многолетнем периоде существенные изменения, как и соотношение содержащихся в ней компонентов и их концентрации. В некоторых случаях таблицы первичных результатов наблюдений могут заменяться графиками.

Топооснова и графические материалы к подсчету запасов

Инструкцией ГКЗ (1961) рекомендуется применять топографическую основу, масштаб которой определяется размерами месторождения и обеспечивает необходимую точность изображения определяемых площадей и вычисления объемов полезного ископаемого. Обычно применяется топографическая основа масштаба 1:2000-1:5000, а для крупных месторождений 1:50000. Все разведочные выработки должны быть нанесены на топооснову инструментально. Для подсчета запасов применяется масштаб топоосновы, обеспечивающий достаточно большие расстояния между точками нанесения на план разведочных выработок или точек промера глубин рапы. Обычно принимается, что эти расстояния между выработками или скважинами на плане не должны быть меньше 4 см.

К отчету о разведке должен прилагаться топографический план. Возможно совмещение его с планом подсчета запасов. Основными графическими материалами к подсчету запасов являются планы подсчета запасов, геолого-литологические разрезы, колонки, иногда вспомогательные графические материалы, к которым относятся планы опробования, планы изолиний мощности и подошвы полезной толщи или планы с изобатами рапных озер, геологические и геолого-литологические карты и разрезы бассейна соляного озера. иногда специальные гидрогеологические карты и разрезы, а также графики наблюдений за режимом рапы, подземных вод, поверхностных водотоков, за метеорологическими факторами.

План подсчета запасов, как правило, должен иметь масштаб, соответствующий масштабу топоосновы. Иногда допускается пантографирование последней. На план подсчета наносятся все выработки и скважины, пройденные в период поисков и разведки, граница солевой залежи на «сухих» и урез рапы на рапных соляных озерах, граница соровой или пляжевой полосы, точки заложения зондировочных скважин, промера глубин, отбора проб рапы. На план подсчета запасов у каждой выработки выносятся мощности пласта соли или нескольких пластов.

На рапных озерах на план наносится мощность слоя рапы в точках ее замера. В отдельных случаях у точек отбора проб отмечаются содержания лимитируемых компонентов. На план наносятся границы подсчета запасов, границы подсчетных блоков, средние данные по каждому из таких блоков: номер, категория запасов, площадь, средняя мощность соли, среднее содержание лимитируемых компонентов. На планах подсчета поверхностной рапы также наносятся граница подсчета запасов и линии изобат. Иногда внутри контура подсчета запасов рапы выделяются зоны, различающиеся по составу рапы и концентрации в них солей, отмечаются различные по составу породы дна озера или контуры залегающего в нем пласта солей.

Геолого-литологические разрезы солевых залежей озер сравнительно редко используются непосредственно для подсчета запасов. Однако они являются обязательной составной частью графики отчета о разведке соляного озера, так как представляют собой наиболее полный иллюстративный материал, дополняющий подсчет запасов сведениями о характере размещения разностей солей в солевой залежи, их переходах и взаимосвязи. Вертикальный масштаб разрезов по отношению к горизонтальному приходится принимать с учетом значительного искажения, величина которого определяется мощностью солевой залежи и необходимостью изображения на разрезах слоев разного минералогического состава. Соотношение горизонтального и вертикального масштабов 1:1 практически при построении разрезов соляных озер не применяется. Для геологолитологических разрезов большинства озер приходится применять соотношение масштабов 1:50, 1:100 и даже 1:200.

Нередко геолого-литологические разрезы солевой залежи обрывают на контуре подсчета без доведения их до границы солевой залежи, что следует признать неправильным. Как правило, разрезы

должны изображать и солевую залежь, и соровую полосу, и подстилающие залежь породы. На разрезы наносятся условными знаками (при этом могут использоваться цветные карандаши или краски) основные разности солей, слагающие слои, прослои, линзы, различающиеся по минералогическому составу или качественным показателям; разрезы сопровождаются авторской трактовкой взаимосвязи. На разрезы выносятся контуры подсчета запасов, а также запасов разных категорий и контуры блоков подсчета. На них наносятся все скважины и горные выработки, отмечаются интервалы опробования, номера проб, данные о их кондиционности, иногда содержания лимитируемых компонентов, абсолютные отметки устьев выработок, глубина последних, мощность полезной толщи.

При значительном однообразии состава и строения солевой залежи к отчету может прилагаться только часть разрезов, но обязательно характеризующая солевую залежь в поперечном и продольном направлениях. Геолого-литологические разрезы рапных соляных озер, как правило, должны охватывать подстилающие полезную толщу рапы породы, включая солевые отложения, слой ила и породы озерного ложа.

Планы изолиний мощности и подошвы полезной толщи составляются только в тех случаях, когда мощность ее испытывает резкие колебания. Применительно к мирабилитовым озерам, которые будут эксплуатироваться путем естественного обезвоживания мирабилита и сгребания «нагара», иногда составляются погоризонтные или послойные планы с интервалами между ними 0,2-0,3-0,5 м. Планы с изобатами, изоконцентратами или изолиниями содержаний компонентов рапы на рапных озерах иногда могут совмещаться с планами подсчета запасов рапы.

Серьезным недостатком многих отчетов о разведке соляных озер до последнего десятилетия была недостаточная увязка данных, полученных при проведении разведочных работ, с геологическим строением района и самой озерной котловины, с их гидрогеологическими условиями. Озеро фактически рассматривалось только как физико-химическая система, вне связи его с внешней средой. Такой подход к рассмотрению озер замедлил их познание и изучение как геологических объектов.

К отчету о разведке должна прилагаться геологическая или геолого-литологическая карта крупного масштаба, отражающая геологическое строение озерной котловины, и карта бассейна озера относительно мелкого масштаба. Эти карты должны сопровождаться геолого-литологическими разрезами, опирающимися также на скважины, пробуренные в бассейне озера. При необходимости в отчет включаются также специальные гидрогеологические карты и разрезы. Масштаб их, как и геологических карт и разрезов, зависит от величины озерной котловины, ее бассейна, глубины ее вреза в коренные породы.

Прилагаемые к отчету графики наблюдений могут быть самыми разнообразными. Их количество и характер зависят от конкретных

условий каждого соляного озера и объема проведенных на нем исследований. Графики непосредственно не используются в подсчете запасов, но так как подсчет производится на определенную дату, а в течение года и в многолетнем цикле запасы твердых солей и тем более запасы рапы претерпевают существенные изменения как по количеству, так и по составу и соотношению в них компонентов, то с помощью графиков наблюдений можно установить пределы изменения запасов в эти периоды, а также зависимость их от изменения климатических условий и других внешних факторов. При наличии журналов наблюдений к отчету могут прилагаться только обобщенные графики, построенные на основе среднемесячных или среднедекадных данных.

Расчеты средних мощностей и содержаний компонентов

Условия залегания твердых солевых отложений в соляных озерах предопределяют разведку их только вертикальными скважинами и в редких случаях шурфами. Это при определении средних мощностей полезного ископаемого, включенного в подсчет запасов, в блоках позволяет использовать способ среднего арифметического. Так же обычно определяются средние мощности для выделения отдельных пластов, прослоев, линз солей.

Содержания компонентов в среднем по пересечению пласта, слоя скважиной или шурфом могут рассчитываться способом среднего арифметического только в тех случаях, когда интервалы опробования одинаковы, а также при очень малых колебаниях содержаний основных компонентов и примесей. В связи с тем, что на соляных озерах широко применяется послойное опробование и длины проб большей частью неодинаковы, средние содержания по пересечениям чаще приходиться рассчитывать способом средневзвешенного. Средние содержания в блоках рассчитываются способом среднего арифметического, а при резких колебаниях мощности — средневзвешенного на мощность.

Средние содержания компонентов в поверхностной рапе рассчитываются способом среднего арифметического, а в межкристальной рапе при значительных колебаниях мощности вмещающего ее пласта и содержаний компонентов — способом средневзвешенного на мощность.

Глава VII

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ СОЛЕЙ И РАПЫ

Подсчет запасов солей и рапы производится на основе кондиций, утвержденных ГКЗ СССР. Запасы солей подсчитываются в жидкой и твердой фазах раздельно, в естественном их состоянии, без учета нотерь при эксплуатации. Запасы твердых солей подсчитываются в весовых единицах (в тыс. т), рапы в объемных единицах (в тыс. ${\tt m}^3$), а солей в ней — в вес. % или также в тыс. т.

Подсчет запасов твердых солей в соляных озерах мало отличается от подсчета запасов других твердых полезных ископаемых, залегающих в виде почти горизонтальных пластов или линз. Это относится к методам подсчета, оконтуриванию, принципам выделения подсчетных блоков.

Подсчет запасов рапы имеет специфические особенности вследствие связи ее с легкорастворимыми солями, переходом последних из жидкой фазы в твердую и обратно.

Методы подсчета

Для подсчета запасов твердых солей в настоящее время практически используются только два метода — геологических блоков и разрезов, главным образом вертикальных.

В последние годы наиболее часто используется метод геологических блоков. Его достоинством является возможность выделения и раздельного подсчета в пределах запасов одной категории площадей или блоков, различающихся содержанием полезных компонентов или вредных примесей, технологическими или физико-механическими свойствами, степенью разведанности, мощностью полезной толщи, горнотехническими условиями и другими признаками. Такое выделение площадей, характеризующихся близкими свойствами, позволяет увеличить достоверность средних показателей по этим площадям. Недостатком метода геологических блоков является его невысокая наглядность, нередко приводящая к выделению подсчетных блоков со значительными различиями свойств или параметров по отдельным скважинам, не всегда удачной группировке скважин в блоки, недостаточно четкому представлению о строении участка, включенного в блок. Этот недостаток легко исправим посредством построения достаточного количества геологических разрезов.

Метод вертикальных разрезов при подсчете запасов солей на соляных озерах почти столь же распространен. Он отличается своей наглядностью, простотой, удобством проверки. Одним из основных условий применения этого метода подсчета запасов является разведка озера выработками, расположенными по прямым линиям или профилям. Другим условием является достаточно большое количество скважин или выработок на каждой линии, определяющее надежность построения разреза. Недостатком этого метода является его громоздкость по сравнению с методом геологических блоков. Применение этого метода нецелесообразно при недостаточной выдержанности свойств сырья или параметров полезной толщи для надежной геометризации их на разрезах или между ними.

Метод вертикальных разрезов применяется только в тех случаях, когда геометризация всех основных показателей не вызывает сомнений и может трактоваться однозначно. В противном случае

разрезы будут представлять собой только один из возможных вариантов.

Подсчет запасов поверхностной рапы, как правило, производится по озеру в целом. Практически единственным методом подсчета запасов рапы, обеспечивающим необходимые точность и достоверность их подсчетов, является метод изолиний или изобат. Степень его точности определяется количеством промеров глубины рапы и точек ее опробования, равномерностью их размещения, а также количеством горизонтальных сечений или изолиний глубины. Иногда в общем контуре подсчета, совпадающем с акваторией озера, ориентировочно подсчитываются запасы рапы в зонах, отличающихся теми или иными особенностями (например, концентрацией или составом рапы). Однако достоверность такого подсчета значительно ниже подсчета общих запасов.

Подсчет запасов межкристальной рапы обычно производится совместно с подсчетом запасов твердых солей, в пределах выделенных для этого пластов или слоев, различающихся составом как твердых солей, так и рапы. Подсчет ее запасов производится путем определения пористости пласта соли и расчета объема, занимаемого в пласте рапой. В некоторых случаях, на особенно крупных озерах (например, в «погребенных» пластах солей в Кара-Богаз-Голе), подсчитываются не только общие статические запасы рапы, но и запасы эксплуатационные, рассчитываемые в м³/сутки. Эти запасы подсчитываются и утверждаются в соответствии с Инструкцией ГКЗ о применении классификации к эксплуатационным запасам подземных вод.

Оконтуривание и принципы выделения подсчетных блоков

Оконтуривание запасов солей в озерах имеет некоторые специфические особенности, связанные с условиями их залегания. Как правило, пласт соли представляет собой линзу, границы распространения которой не выходят за пределы озера. Оконтуривание солевой залежи производится по разведочным опробованным скважинам, по зондировочным (или щуповым), или закопушкам. Экстраполяция здесь может быть только очень ограниченной.

Вопрос об отнесении запасов к балансовым или забалансовым по всему озеру или его части решается на основании технико-экономических расчетов при обосновании и утверждении кондиций. Оконтуривание балансовых запасов внутри солевой залежи может производиться по минимальной мощности полезной толщи, минимальному содержанию в краевых (бортовых) пробах полезного компонента и максимальному содержанию в них вредных примесей, величины которых устанавливаются кондициями. Иногда за контуром балансовых запасов выделяются забалансовые, которые не отвечают кондициям, но могут представлять промышленный интерес в будущем.

Подсчетные блоки должны представлять участки с однородным геологическим строением, одинаковыми горнотехническими условиями

разработки, близким составом и качеством полезного ископаемого и одинаковой степенью его разведанности.

В работе В. М. Борзунова (1969) обобщены принципы выделения под счетных блоков. Эти принципы следующие: 1) подсчетный блок выделяется в пределах месторождения, участка, залежи, разведанной с одинаковой степенью детальности; 2) участки месторождения, требующие применения различных систем отработки, выделяются в самостоятельные блоки; 3) строение и мощность полезной толщи в блоке не должны быть резко различными; 4) состав и качество сырья, определяющие области его применения и технологию переработки, должны быть одинаковыми.

В связи с тем, что надежность средних данных при одинаковом характере изменчивости отдельных показателей определяется количеством пересечений полезной толщи выработками, очень важен правильный выбор размеров блока, или количества пересечений на площади, позволяющих выделить ее в самостоятельный блок, достоверность данных в котором соответствовала бы требованиям к соответствующей категории.

С этой точки зрения наиболее надежными являются крупные блоки с наибольшим количеством пересечений. Но эта средняя «надежность» может скрывать столь значительные колебания параметров сырья и полезной толщи, что в отдельные периоды эксплуатации работа предприятия будет крайне затруднена и даже может стать убыточной. Кроме того, цель подсчета заключается не только в определении общих запасов и их среднего качества по всему месторождению, но и в определении пределов изменения мощности полезного ископаемого, его качества и технологических свойств на отдельных участках месторождения, которые будут разрабатываться последовательно, а не одновременно.

Для нормальной работы предприятия наиболее удобными были бы блоки с запасами сырья на 0,5-1 год его работы. Но выделение таких блоков по результатам детальной разведки большей частью неоправдано, так как из-за принятой при детальной разведке плотности сети разведочных выработок или скважин характеристика такого блока будет основываться только на 1-2-4 скважинах, не обеспечивающих получение надежных данных. Дальнейшее же сгущение сети при детальной разведке представляется нецелесообразным.

Поэтому при определении оптимальных размеров подсчетных блоков по результатам детальной разведки приходится стремиться к выделению мелких блоков, но в то же время с таким количеством пересечений в каждом из них, которое обеспечивало бы достаточную надежность всех средних показателей в таком блоке.

В. М. Борзунов (1969) рекомендует для блоков простого строения с выдержанными мощностью тел полезных ископаемых и качеством сырья не менее 9 пересечений; для блоков сложного строения с невыдержанной мощностью или неравномерным качеством сырья не 150

менее 16 пересечений; для блоков очень сложного строения с крайне невыдержанными мощностью и качеством сырья не менее 25 пересечений.

Отнесение запасов к категориям

Условия отнесения запасов солей к категориям приведены в Инструкции по применению классификации к озерным месторождениям солей (1961). Этими условиями предусматривается необходимая степень изученности запасов солей месторождения и всех их параметров, необходимых для отнесения их к категориям A, B, C_1 и C_2 .

Для отнесения запасов солей к категориям A, B и C^1 необходимо выполнение всех требований, предъявляемых к запасам каждой категории. Невыполнение хотя бы одного из них вынуждает относить эти запасы к более низкой по степени изученности категории.

Запасы межкристальной или иловой рапы, как правило, относятся к той или иной категории в соответствии с изученностью их на данном участке соляного озера. Запасы поверхностной рапы по всей площади соляного озера, как правило, относятся к одной категории в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями. Возможность проектирования и строительства предприятия на запасах поверхностной рапы категорий В и C_1 , как и решение о нецелесообразностр! доведения изученности этих запасов до категории A, отмечается при утверждении запасов ГКЗ СССР.

Подготовленность месторождения для промышленного освоения определяется требованиями, изложенными в «Классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых».

Запасы озерных месторождений солей, отнесенные к категории C_2 , являются предварительно оцененными и предназначаются для определения перспектив месторождения. В число запасов, требующихся на амортизационный срок проектируемого предприятия, они не включаются.

По соотношению запасов категорий A, B и C_1 в разделе «Г» «Классификации» выделяются три группы. Для месторождений второй группы, запасы которых не разведуются до категории A, качество солей, технология их переработки, а также гидрогеологические, гидрологические, гидрохимические и горнотехнические условия месторождения должны быть изучены с детальностью, отвечающей требованиям категории A. В этом случае экстраполяция запасов категории В обычно не допускается. Озерные месторождения третьей группы сейчас промышленного значения не имеют. Исключением могут быть соляные озера с запасами поверхностной рапы, использование которых ограничивается местными нуждами или неответственными назначениями. Отнесение месторождения ко второй группе обычно не означает, что для запасов категории В на нем возможно применение разведочной сети, более редкой, чем для категории А месторождений первой группы.

Достоверность подсчета запасов рапы и солей

Изменения, происходящие в соляных озерах, не могут не сказываться на достоверности подсчета запасов в них рапы и солей.

Подсчет запасов на месторождениях полезных ископаемых и его утверждение ГКЗ СССР производятся по состоянию на определенную дату, обычно совпадающую с датой окончания разведки месторождения, а на эксплуатируемых месторождениях - с датой топографической съемки или маркшейдерских замеров положения карьера. Вопрос о дате подсчета запасов для озерных месторождений имеет особое значение. В зависимости от даты подсчета запасов могут быть неодинаковыми количество, концентрация и состав солей в рапе и в твердых отложениях соляного озера. К этим изменениям состава и концентрации солей в рапе, а также состава солей в солевой залежи озера приспосабливаются предприятия, эксплуатирующие соляные озера, которые большей частью ведут добычу солей или рапы только в определенное время года, обеспечивающее высокие качественные показатели сырья. Так, добыча галита солесосами обычно производится с марта — мая до сентября — ноября, когда мирабилит, выпавший зимой, полностью переходит в рапу. Для таких производств наиболее желателен подсчет запасов по состоянию на июнь - сентябрь. С таким расчетом производится и проходка скважин на большинстве озер.

Однако подсчет запасов на определенную дату дает достоверное количество запасов и их качественную характеристику именно на эту дату. Поэтому он может быть достоверным для всего сезона эксплуатации только при условии увязки его с результатами систематических наблюдений за режимом и составом солей в рапе и солевой залежи, проведенных на постах, отражающих типичные для озера их показатели. Это позволяет рассчитать изменения количества запасов и состава рапы во времени и установить количество и качество рапы на любую дату. С меньшей достоверностью можно определить изменения в запасах и составе твердых солей.

Точность подсчета запасов рапы и солей (как и других полезных ископаемых) зависит от точности определения площадей, количества пересечений полезной толщи и точности определений ее мощности, содержаний компонентов химическими анализами и расчетов величин средних показателей, правильного выбора периодичности наблюдений и мест наблюдательных постов.

Глава VIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЗАПАСОВ РАПЫ И СОЛЕЇ

Для нормальной работы действующего или проектируемого предприятия, базирующегося на озерном месторождении солей, промышленная оценка последнего и оценка подготовленности его для промышленного освоения должны включать кроме характеристики

разведанных до соответствующих категорий запасов солей и рапы степень стабильности этих запасов, прогноз устойчивости их качества и количества на период эксплуатации и прогноз изменений в состоянии соляного озера в результате вмешательства в протекающие в нем процессы при его эксплуатации.

Подготовленность месторождения для промышленного освоения

Для озерных месторождений солей подготовленность их к промышленному освоению определяется изученностью протекающих в озерах процессов и проявлений этих процессов, поскольку они оказывают существенное влияние на условия эксплуатации месторождения. Эти проявления процессов фиксируются наблюдениями за гидрологическим, гидрогеологическим, гидрохимическим и термическим режимами, воздействующими на режим озера и направление его развития, метеорологическим и другими факторами, состоянием солевой залежи озера. Такими проявлениями процессов являются изменения температуры, плотности и концентрации рапы; состава растворенных в ней солей (как в поверхностной, так и в межкристальной); изменения состояния солевой залежи, выражающиеся в выпадении или растворении новосадки, в сезонном изменении состава старосадки и корневой соли.

Результаты наблюдений за приведенными выше показателями, характеризующими режим озера, фиксируются в таблицах и графиках, удобных для сопоставления их значений, амплитуд их колебаний и связи как между собой, так и с показателями состояния озера на дату подсчета запасов. На основании первичных данных наблюдений составляются таблицы и графики среднемесячных, максимальных и минимальных величин всех наблюдаемых параметров.

Обработка этих материалов дает возможность проследить за изменением уровня (а следовательно, объема и запасов рапы) в течение одного или нескольких годичных циклов наблюдений, изменением концентрации и солевого состава рапы в течение этого периода (а следовательно, изменением суммарных запасов солей и запасов отдельных солей в рапе), изменением содержания в рапе полезных компонентов и вредных примесей. Этими показателями определяются максимальная мощность предприятия, максимально допустимый забор рапы, технология ее переработки и получения из нее тех или иных солей. Эти же данные могут быть использованы и для определения условий добычи из озера твердых отложений солей.

Для проектирования системы разработки озерного месторождения очень важны месячные, годовые и многолетние амплитуды колебаний перечисленных выше параметров рапы, в зависимости от которых можно вести эксплуатацию круглогодично или выбрать периоды времени (сезон), наиболее благоприятные для добычи рапы или солей с требуемыми свойствами и с применением наиболее эффективных способов их добычи и переработки. Недостаточная изученность амплитуд колебаний этих параметров неоднократно приводила

к значительным затруднениям и осложнениям в работе эксплуатирующих озера солепромыслов.

Необходимо отметить, что проведение наблюдений за режимом озер пока осуществлялось на сравнительно небольшом количестве объектов и что комплекс наблюдений пока нельзя считать полностью определившимся для любых озер и для любых областей использования их солей и рапы. В одних случаях он должен быть максимально обширным, в других — представленным достаточно ограниченным кругом наблюдений.

Поэтому и подготовленность месторождений для промышленного освоения, определяемая степенью изученности протекающих в озере процессов и их проявлений, оказывающих влияние на его эксплуатацию, может выявляться с разной степенью детальности — в зависимости от величины и значения объекта, требований к добываемым из него солям и рапе. Это может выражаться в количестве показателей, за которыми должны проводиться наблюдения, в сроках и длительности наблюдений, детальности сопоставления этих показателей, степени допущения различных аналогий.

Обработка материалов наблюдений и выводы об изменении запасов рапы и солей и об амплитудах колебаний основных показателей во времени охватывают период наблюдений, который в большинстве случаев не превышает 2-3 лет и составляет, как правило, только небольшую часть многолетнего цикла соляного озера, часто не включающую данных о наиболее влажных или засушливых годах этого цикла, а следовательно, и о максимальных амплитудах колебаний показателей.

Расчеты водно-солевого баланса

Водным балансом, т. е. сопоставлением прихода и расхода воды на определенной части земной поверхности, широко пользуются метеорологи, гидрологи и гидрогеологи для решения самых разнообразных вопросов, связанных с испарением и выпадением атмосферных осадков, притоками и расходами вод, забором их для потребления, мелиорацией и ирригацией и многими другими проблемами. Балансовый метод широко применяется при изучении рек, морей, озер, бассейнов подземных вод. Этот метод, подробно освещенный в гидрологической и гидрогеологической литературе, применим и при изучении соляных озер. В этом случае, однако, речь идет обычно о водно-солевом балансе, т. е. также и о приходе и расходе солей в соляном озере. Он очень удобен для проверки правильности определения отдельных статей прихода и расхода воды и солей, для определения с его помощью тех статей расхода и прихода, которые не удалось определить экспериментальным путем или путем расчетов.

Использование балансового метода, несомненно, может значительно облегчить изучение соляных озер, но при этом нельзя не учитывать, что, как и результаты применения математических методов, положительные и достаточно достоверные результаты от использования балансового метода могут быть получены лишь в том слу-

чае, если правильно определены исходные данные, т. е. статьи баланса, и учтены все статьи, оказывающие заметное влияние на этот баланс. К сожалению, это обстоятельство далеко не всегда учитывалось исследователями и приводило ко многим ошибкам и недоразумениям.

Составляя водно-солевой баланс соляного озера, необходимо тщательно проверить, насколько им учитываются все приходные и расходные статьи, каков их удельный вес в балансе. Для этого используются данные непосредственных наблюдений, разведки, опытных работ, изучения бассейна соляного озера, включая сведения о водоносных горизонтах, наблюдения ближайших гидрометеостанций, надежные аналогии, различные расчеты.

Водный баланс соляного озера в общем виде может быть представлен следующими статьями. Статьи прихода: поступление атмосферных осадков на акваторию озера (или на поверхность пласта соли в «сухих» соляных озерах) в виде дождя и снега; поверхностный сток в озеро по речкам и ручьям, действующим постоянно или периодически, балкам и логам в виде временных водотоков, поверхности склона озерной котловины в результате таяния снега и выпадения дождей; подземный сток, представленный притоком грунтовых вод, разгружающихся на соровой полосе и по периметру солевой залежи и толщи рапы, и притоком более глубоких (обычно напорных) подземных вод, подпитывающих грунтовые воды и часто поступающих в озеро через его дно («окно», промоины). В подземном стоке иногда целесообразно выделять подрусловый сток по долинам ручьев и речек, песчаные отложения которых нередко обладают значительно большими коэффициентами фильтрации, чем средние по водоносному горизонту. Так как озера занимают пониженные участки рельефа, не исключена возможность образования на нем более мощного снегового покрова, чем средний по его бассейну. То же относится к впадающим в озеро логам и балкам.

Основная статья расхода в соляных озерах, не проточных для поверхностных вод, — испарение с поверхности рапы. Все остальные статьи менее значительны и находятся на разных озерах в различных соотношениях. Среди них следует отметить уход из озера части рапы в горизонт грунтовых вод, фильтрацию ее через дно озера в горизонт напорных вод — навстречу его водам, поднимающимся по донным «окнам»; испарение с поверхности пластов солей на «сухих» соляных озерах, где, кстати, весной и осенью происходит испарение поверхностной рапы, пока она присутствует на озере; уход воды с осаждающимися солями в виде кристаллогидратов, которые в других условиях могут отдавать эту воду.

Для обоснования надежности водного баланса озера в большинстве случаев целесообразно составлять и водный баланс всего бассейна, включая в него не только выпадающие на его поверхность осадки, но и дифференцируя их на части: испаряющуюся, составляющую поверхностный сток и инфильтрующуюся в горизонт грунтовых вод. При этом, конечно, учитывается испарение с поверхности

грунтов при неглубоком залегании подземных вод. Этот расчетный баланс дополняется балансом подземных и, в частности, грунтовых вод, включая взаимоотношения их с соляным озером, а также другими водоемами, если они имеются в этом бассейне. В ряде случаев целесообразно рассматривать совместно с водным балансом озера баланс соровой полосы, имеющей свои особенности и являющейся преградой для беспрепятственного сообщения грунтовых вод с рапой озера вследствие низких коэффициентов фильтрации слагающих ее пород, большой величины испарения и значительных перепадов минерализации подземных вод. Иногда испарение с поверхности соровой полосы сопоставимо с испарением с поверхности озера, что заставляет учитывать его в общем водном балансе.

Солевой баланс озера и его бассейна неразрывно связан с водным балансом, но не повторяет его, а удельный вес в нем отдельных статей может быть совершенно иным. Это позволяет их взаимно контролировать и делать более обоснованные выводы о режиме, питании озера и происходящих в нем процессах. Различия в водном и солевом балансах озера связаны с разным содержанием солей в водах различных источников, питающих озеро, увеличением содержания солей в них в зависимости от интенсивности их испарения, смещением вод, содержащих соли с различной растворимостью, в результате чего одни из них выпадают в осадок, а другие избирательно накопляются в растворе. Поэтому составление солевого баланса соляного озера и тем более его бассейна значительно сложнее составления водного баланса. И в этом случае следует обратить особое внимание на соровую полосу, в пределах которой многократно увеличивается минерализация грунтовых вод, изменяется состав растворенных в воде солей, выпадают труднорастворимые соли.

Разница в суммарном приходе и расходе воды или рапы и в увеличении или уменьшении концентрации солей в рапе в годовом балансе в зависимости от ее знака и величины будет указывать на направление протекающих в озере процессов. При этом следует учитывать и динамику соляных отложений озера, поскольку уменьшение концентрации солей в рапе может быть следствием как ее разбавления, так и выпадения части солей в осадок вследствие насыщения ими; увеличение концентрации солей в рапе может происходить за счет испарения и за счет растворения донных соляных отложений. Для этого необходимо изучение метеорологических условий и изменения состава растворенных в рапе солей.

На эксплуатируемых озерах должны учитываться как добыча из озера рапы или твердых солей, так и их потери. Представляется очень интересным составление месячных водно-солевых балансов, более отчетливо отражающих динамику протекающих в озере процессов по сравнению с балансами годовыми.

Опыт составления водно-солевых балансов озера и его бассейна пока очень незначителен, однако следует полагать, что дальнейшее его расширение может открыть большие возможности в освещении различных сторон жизни озер.

Прогноз устойчивости запасов рапы и солей

Непосредственные наблюдения за режимом озера и условиями его питания, производимые одновременно с разведкой озера, продолжительность которых редко превышает 2-3 года, как правило, не могут охарактеризовать все изменения, происходящие в озере за весь период эксплуатации, особенно амплитуду этих изменений. Не могут они характеризовать и последствия этих изменений, усложняющие разработку месторождения, тем более что этот период обычно охватывает несколько многолетних циклов. Для этого необходим прогноз состояния и устойчивости запасов рапы и солей в течение всего периода эксплуатации озера.

Для этой цели в качестве основы используются результаты проведенных на озере наблюдений, поскольку они позволяют установить основные закономерности изменений, происходящих в озере в течение годичного цикла, и сопоставить их с соседними годичными циклами. Выявленные закономерности сопоставляются с результатами наблюдений за условиями питания озера, режимом подземных вод, гидрометеорологическими факторами. В процессе этого сопоставления выявляются связи между указанными закономерностями и факторами и зависимости в изменениях соответствующих показателей рапы и подземных вод, поверхностного стока и метеорологических факторов. При этом желательно составление соответствующих водно-солевых балансов. Для распространения полученных данных на более длительный период необходимы данные ближайшей метеорологической станции о наблюдениях за гидрометеорологическими факторами хотя бы за последние 20-30 лет. Иногда целесообразно использование данных двух или трех метеорологических станций, расположенных вокруг района озера. Очень важно сопоставить и сделать правильные выводы о различиях в природных условиях этих метеостанций и изучаемого соляного озера как по климатическим условиям, так и по высоте, характеру рельефа и другим показателям. Нельзя не учитывать при этом влияние микроклимата района соляного озера. Имеет значение и принадлежность района озера и метеостанции к одной или разным ландшафтным и единицам.

Наилучшие результаты получаются в том случае, если в бассейне озера в период его изучения производились достаточно обширные метеорологические наблюдения. Сопоставление их за соответствующие годы нередко дает возможность ввести поправки к данным метеостанции на микроклимат бассейна соляного озера и распространить их на данные наблюдений за предшествующие годы. В данных метеорологической станции за весь период ее наблюдений следует попытаться выявить климатические периоды (Шнитников, 1957), включающие наиболее увлажненные и наиболее засушливые годы, определить их продолжительность. После этого необходимо установить, к какой части климатического периода — увлажненной, засушливой или переходной — относятся годы наблюдений, проведенных

на соляном озере и в его бассейне. Пока имеющимися в нашем распоряжении средствами для прогнозирования метеорологических, гидрологических и гидрогеологических условий, а следовательно, и связанных с ними режима соляного озера и условий его питания на 20-30 лет вперед приходится исходить из предположения, что в эти годы климатические и остальные условия района, как и режим озера, будут изменяться примерно с той же периодичностью и с теми же амплитудами колебаний параметров, которые установлены наблюдениями за последние 20-30 лет. Это допущение не может полностью гарантировать, что в течение ближайших 20-30 лет не произойдет изменений с более значительной амплитудой колебаний параметров, чем отмеченные в последние 30 лет, но вероятность их сравнительно невелика, к тому же она может быть несколько снижена за счет привлечения данных наблюдений на метеостанциях за еще более длительный период.

Очень ценными для сопоставления и прогноза сведениями являются литературные данные о прежних посещениях озера исследователями, отчеты о проводившихся в бассейне озера или на самом озере различных исследованиях, которые в некоторых случаях включают даже наблюдения за режимом озера. Все эти данные, наложенные на результаты наблюдений метеорологических станций и с их помощью сопоставленные с современными наблюдениями за режимом озера, значительно увеличивают достоверность прогноза.

Пля прогноза желательно использовать данные химических анализов проб рапы и солей, полученные при разведке озера, в процессе наблюдений и из литературных данных о прежних обследованиях озера. Наиболее целесообразным использованием химических анализов для целей прогноза, по-видимому, является нанесение результатов их на диаграммы изотермические 25° и 0° и политермические диаграммы равновесных солевых систем. Нанесение точек состава рапы на эти диаграммы позволяет проследить за изменениями, происходящими в составе рапы в годичном и многолетнем циклах, за садкой из нее тех или иных солей и направлением ее развития. Необходимо только учитывать, что диаграмма и положение точки состава рапы на ней, как и направление луча кристаллизации, отражают статическое положение озера, т. е. процессы, протекающие при испарении рапы данного состава при постоянной или изменяющейся температуре без учета поступления в озеро вод разного солевого состава, вносящего свои коррективы в эти процессы.

Прогнозирование изменения состояния соляного озера на 20-30 лет пока недостаточно освоено и требует творческого подхода.

Прогноз изменений в озере в результате его эксплуатации

Вмешательство человека в любой природный процесс почти во всех случаях приводит к нарушению сложившегося в природе равновесия, к резкому изменению его хода. Это в значительной степени

относится и к вмешательству в жизнь соляного озера, даже непосредственно не связанному с его эксплуатацией (например, вмешательство при проведении ирригационных или мелиоративных работ в районе его расположения, строительство плотин, сказывающееся на уровнях и режиме грунтовых вод, а следовательно, и на условиях питания озера). Возможность таких изменений должна учитываться при определении запасов рапы и солей, а также режима озера на период его разработки. В еще большей степени сказывается на состоянии солей и рапы, режиме, скорости протекания процессов и направлении развития озера его эксплуатация, при которой из него удаляются большие количества твердых солей или рапы.

Последствия эксплуатации могут быть самые разнообразные. Так, выемка соли в одной из частей озера может приводить к перераспределению в нем солей, стягиванию их в выломы, их заиливанию, садке в выломах мирабилита за счет перемещения по озеру его новосадки в холодное время года. Понижение поверхности пласта мирабилита на «сухих» мирабилитовых озерах вызывает появление на них слоя тенардита, а иногда повышение содержания хлорида натрия и сульфата магния в верхнем эксплуатируемом слое. Усиленный забор на озере поверхностной рапы, извлечение из нее сульфата натрия, а затем обратный сброс ее в озеро вызывают повышение содержания в рапе хлоридов натрия и магния. Откачка межкристальных рассолов в больших количествах из одиночных скважин может приводить к катастрофическому карстованию соли. Возможны и другие непредвиденные последствия.

Поэтому наряду с прогнозом стабильности запасов и режима озера на период эксплуатации очень важным, но пока неосвоенным, является прогноз изменений в озере, которые будут происходить в результате его эксплуатации. Основной задачей такого прогноза должно быть предвидение тех явлений, которые будут происходить в озере в разные периоды его разработки, а также рекомендации по оптимальным способам эксплуатации и оптимальной добывающего предприятия, позволяющей проводить длительную отработку без существенных изменений режима озера и ухудшения качества соли или рапы. Так, рассредоточение рапозаборных скважин и уменьшение их дебита по сравнению с принятым могли бы значительно уменьшить карстование, сделать его более равномерным и этим способствовать более полной отработке пласта солиг заключены межкристальные рассолы. Это могло бы привести также к сохранению стабильного состава откачиваемой рапы.

Прогноз изменений в состоянии соляного озера, его солей и рапы, по-видимому, наиболее целесообразно выражать в виде графиков или таблиц, отражающих изменения основных показателей после каждого года эксплуатации на весь предусмотренный ее срок. Этот прогноз следует совместить с результатами прогноза изменений, которые будут происходить в состоянии озера за тот же период под воздействием изменяющихся природных условий и процессов, протекающих в соляном озере. Наложение позволит выявить результаты

взаимного воздействия их на соляное озеро и вытекающие из этого важные для эксплуатации озера последствия.

Методы прогнозирования для озер различных типов (например, рапных и «сухих»), питающихся в основном подземными, речными или морскими водами, поступающими в озеро по протокам или руслами речек, неодинаковы; различна и степень их достоверности. Различаются они и для озер, из которых добываются либо твердые соли, либо поверхностная или межкристальная рапа.

Пока не выработано оптимальных методов прогноза стабильности запасов рапы и солей на период эксплуатации, продолжается накопление материалов и опыта, который еще требует проверки и широкого обобщения. Поэтому от исследователей соляных озер требуются широкие поиски правильных решений и большая творческая работа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О. А. Общая гидрохимия. Гидрометеоиздат, 1948.

Александров В. А. Классификация минеральных вод. В сб. «Основы курортологии», т. І. Госмедиздат, 1932.

Бергман А. Г., Лужная Н. П. Физико-химические основы изучения и использования соляных месторождений хлорид-сульфатного типа. Изд-во АН СССР, 1951.

Борзунов В.М. Месторождения нерудных полезных ископаемых, их разведка и промышленная оценка. М. изд-во «Недра», 1969.

Валяшко М. Г. Физико-химическое исследование режима оз. Индер. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIII, 1952.

Валяшко М. Г. Галит, основные его разности, встречаемые в соляных озерах, и их структурные особенности. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIII, 1952.

Валяшко М. Г. Классификационные признаки соляных озер. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIII, 1952.

Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. Изд-во МГУ, 1962.

Валяшко М. Г. Отбор проб и подготовка их к анализу. В сб. «Методы анализа рассолов и солей» под ред. М. Г. Валяшко, ВНИИГ, 1964.

Валяшко М. Г. Единство природных вод и некоторые вопросы их геохимии. «Вестн. МГУ, геология», № 5, 1966.

Валяшко М. Г., Дзенс-Литовский А. И. Методика комплексных исследований минеральных озер. Изд-во ЦНИГРИ, 1935.

Валяшко М. Г., Нечаева А. А., Поленова Т. Б. Соляные озера Джамбулской области. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIV, 1952.

Валяшко М. Г., Петрова Е. Л., Пельш Г. К. Экспериментальное исследование процессов метаморфизации природных соляных вод. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIII, 1952 и вып. XXIV, 1953.

Валяшко М. Г., Поливанова А. И., Жеребцова И. К. Струйное гравитационное движение и его роль в формировании и распределении природных вод. «Вестн. МГУ, геология», № 5, 1965.

Вант - Гофф Я. Г. Океанические соляные отложения. ОНТИ, 1936. Василевская А. Г. Двойные соединения из сульфатов кальция и натрия и их роль в формировании природного тенардита. «Изв. СО АН СССР», № 1, 1959.

Васильев Г. А. Термический режим донной рапы верхнего пласта соли оз. Эльтон. «Тр. ВНИИГ», вып. XXVIII, 1953.

Вахрамеева В. А. Комбинированный метод определения соляных минералов. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIX, 1954.

Вернадский В.И.История минералов земной коры, т. II.История природных вод, ч.І. Химтеоретиздат, 1933—1936.

Висягин Н. И., Василевская А. Г. Опыты по получению тенардита на базе рапы оз. Б. Ажбулат. «Тр. ХМИ ЗСФАН СССР», вып. 12, 1958.

Гроховский Л.М. Джаксы-Клычское месторождение сульфатов натрия. Сб. «Мосгеолнеруд», вып. 1, 1950.

Гроховский Л.М. О галитовых озерах Северо-Восточного Приаралья. Сб. «Мосгеолнеруд», вып. 2, 1953.

Гроховский Л.М. Тенардитовые озера Северного Приаралья. Сб. «Мосгеолнеруд», вып. 4, 1959_1 .

Гроховский Л.М. Краткие итоги работ Арало-Каспийской экспедиции за 1953—1957 гг. Сб. «Мосгеолнеруд», вып. 4, 1959.

Гроховский Л.М. Некоторые особенности изучения и промышленной оценки озерных месторождений солей. «Мат-лы ГКЗ», сб. 3, Госгеолтехиздат, 1963.

 $\tilde{\Gamma}$ роховский Л.М. Соляные озера засушливых районов СССР и их освоение. «Проблемы комплексного изучения засушливых зон СССР». Изд-во АН СССР, 1963,.

Д' А н с. Исследование системморских соляных отложений. «Изв. И Φ XA», т. V, 1930.

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

Дзенс-Литовский А. И. Соляной карст СССР. Изд-во «Недра», 1966.

Дзенс-Литовский А.И. Кара-Богаз-Гол. Л., изд-во «Недра», 1967. Дзенс-Литовский А.И. Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л., изд-во «Недра», 1968.

Земляницына Л. А. О грунтовом питании озер Северного Казахстана. «Тр. лабор. озеровед. АН СССР», 1963.

И ванов А.А. Основы геологии и методика поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. Госгеолиздат, 1953.

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

Инструкцияиметодические указания по обоснованию и расчету кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых. Изд. ГКЗ СССР, 1965.

Кашкаров О. Д. Поверхностная рапа соляных озер и ее изменения во времени. «Тр. ВНИИГ», вып. XXXII, 1956.

Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1960.

Кожевников К. Я. О роли химически связанной воды в засоленных почвах. «Тр. Ин-та почвоведения», т. 2, 1953.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. I, 1946, т. II, 1947.

Кузнецов Н.Т. Пульсация уровней воды в озерах Северного Казахстана. В сб. «Озера Северного Казахстана». Изд-во АН КазССР, 1960.

Курнаков Н.С.О метаморфизации рассолов Крымских соляных озер. «Зап. Всерос. минерал, об-ва», 38, 2 сер., 1900.

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

Курнаков Н.С, Жемчужный С.Ф. Равновесия взаимной системы: хлористый натрий — серномагниевая соль в применении к природным рассолам. «Изв. АН СССР», № 9, 1917.

Курнаков Н. С, Николаев В. И. Солнечное испарение морской воды и озерных рассолов. «Изв. ИФХА», 10, 1938.

Лепешков И.Н. Калийные соли Волго-Эмбы и Прикарпатья. «Тр. Ин-та общ. и неорг. химии АН СССР», 1946.

Лымарев В. И. Берега Аральского моря— внутреннего водоема аридной зоны. Л., изд-во «Наука», 1967.

Ляпунов М. Ф. О формировании тенардита в оз. Б. Ажбулат. «Изд. СО АН СССР», 1959.

Николаев В. И., Фрадкина Х. Б. Изотермические пути кристаллизации солей (35°) при испарении воды Аральского моря. «ДАН СССР», т. XIX, № 8, 1945.

Николаев В. И., Кузнецов Д. И., Бокий Г. Б. К познанию условий образования и природы астраханита. «Изв. Ин-та физ-хим. анализа АН СССР», т. 7, 1935.

Никольская Ю.П. Процессы солеобразования в озерах и водоемах Кулундинской степи. «Изв. СО АН СССР», Новосибирск, 1961.

Овчинников Г. Д. К вопросу о грунтовом питании мелких озер. В сб. «Озера Северного Казахстана». Изд. АН КазССР, 1960.

Пельш А. Д. Политерма растворимости хлорида и сульфата натрия в интервале — $10^{\circ} + 35^{\circ}$. «Тр. ВНИИГ», вып. XXI, 1949.

Пельш А.Д. О совместной кристаллизации галита и мирабилита. «Тр. ВНИИГ», вып. ХХІ, 1949.

Посохов Е.В. Соляные озера Казахстана> «Изв. АН СССР», 1955. Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. Гидрометеоиздат, 1968.

Рафиков А. 3. Испарение с водной поверхности и с поверхности почвы в Голодной степи. «Бюлл. НТИ Ср. Аз. НИИИрригации», № 2, 1957.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Тт. I, II, III. Изд-во АН СССР, 1962.

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

Толстихин Н.И. Нумерация природных вод. В сб. «Проблемы советской геологии», т. VII, № 8, 1937.

Тунцова И.В. Методика количественного минералогического анализа сульфатных минералов натрия. Сб. «Мосгеолнеруд», вып. 2, 1953.

Тычино Я. И. и Валяшко М. Г. Испарение с поверхности новосадки галита на оз. Индер. «Тр. ВНИИГ», вып. XXIV, 1952.

Шнитников А. В. Озера Западной Сибири и Северного Казахстана и многовековая изменчивость увлажненности степей. «Тр. Лабор. озеровед. АН СССР», № 5, 1957.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

CTP.
Предисловие 3
Часть І
Краткие сведения о соляных озерах
Γ л а в а I. Процесс соленакопления и соляные озера 4
Миграция растворимых солей. 5 Озерные котловины, их строение и происхождение. 7 Условия образования и существования соляных минералов 6 Соляные озера и солевые залежи. 10
Глав а II. Классификация соляных озер 13
Глава III. Режим соляных озер 20
Уровенный режим. 21 Термический режим. 23 Гидрохимический режим. 37 Роль испарения в режиме озер. 46 Роль рапы в преобразовании солевых залежей. 51
Глава IV. Питание соляных озер 53 54 Роль поверхностных вод временных водотоков, рек и моря 54 Роль почвенных, грунтовых и напорных подземных вод 60 О проточности соляных озер 69 Скорость изменения состава рапы и солевых залежей 70
Глава V. О направлении развития_озера 74
Часть II Изучение и промышленная оценка озерных месторождений солей
Глава I. Поиски и разведка 92
Поиски месторождений_солей 92 Предварительная и детальная разведка. Особенности методики 98 Изучение бассейна соляного озера 102
Глава И. Опробование месторождений 105 105 Особенности отбора и обработки проб солей и рапы 106 Отбор и отработка проб илов и грунтов. 110 Опробование поверхностных и подземных вод 112
Глава III. Изучение режима соляного озера 113 Наблюдения за водно-солевым режимом озера

	Стр.
Установление воздействующих на режим озера факторов 117 Наблюдения за испарением и опытные работы	119
Г л а ва IV. Анализы, технологические исследования 122	
Химические анализы 123	
Минералого-петрографические исследования Определение объемного веса и физико-механических свойств	129
солей.	.131
Изучение технологии обогащейия и переработки солей и рапы $\cdot\cdot$	133
Глава V. Требования промышленности (конд <u>иц</u> ии) 136	
Госты и Технические условия на соли и рассолы 136	
Кондиции на минеральное сырье	138
Комплексное использование озерных месторождений солей	140
Г лава VI. Исходные данные для подсчета запасов 142	
Документация выработок, анализов, испытаний, наблюдений	142
Топооснова и графические материалы к подсчету запасов	144
Расчеты средних мощностей и содержаний компонентов	147
Г лава VII. Подсчет запасов солей и рапы 147	
Методы подсчета 148	
Оконтуривание и принципы выделения подсчетных блоков	149
Отнесение запасов к категориям	151
Достоверность подсчета запасов рапы и солей	152
Глава VIII. Определение стабильности запасов рапы и солей 152	
Подготовленность месторождения для промышленного освоения 153	
Расчеты водно-солевого баланса.	.154
Прогноз устойчивости запасов рапы и солей	.157
Прогноз изменений в озере в результате его эксплуатации .	158
Список литературы	161

Гроховский Лев Михайлович
Озерные месторождения солей,
их изучение и промышленная оценка

Редактор Зверев А. С.

Редактор издательства Потапов В. С.
Технические редакторы Сычева Е. С.
и Романова В. В.
Корректор Ионкина В. И.

Сдано в набор 16 / II 1972 г. Подписано в печать 7 / IV 1972 г. 7-06093. Формат 60 X 90 Vie. Печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 11,0. Вумага № 2. Индекс 1-4-1. Заказ 1528/3836-2. Тираж 1000 экз. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Недра». Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.
Пенинградская типография № 6
Главполиграфпрома Комитета по печати
при СоветеМинистров СССР. Московский пр., 91.