

## ТЕНАРДИТОВЫЕ ОЗЕРА СЕВЕРНОГО ПРИАРАЛЬЯ

### І. В В Е Д Е Н И Е

Природный сульфат натрия широко используется в различных отраслях промышленности в виде обезвоженного мирабилита и тенардита. Мирабилит содержит 55,9% кристаллизационной воды и перед транспортировкой к местам потребления и использованием требует предварительного естественного или искусственного обезвоживания, тенардит же может употребляться промышленностью в сыром, природном виде. Это выгодно отличает его от мирабилита. Однако тенардит встречается значительно реже и в меньших количествах, чем мирабилит. Увеличение запасов его, несомненно, расширило бы и область применения сульфата натрия в тех производствах, где сейчас применяются другие, природные или искусственные, часто значительно более дорогие материалы. Поэтому изучение условий его залегания и образования в природе, которое должно помочь найти пути наиболее рационального искусственного его получения или способы воздействия на природные процессы, его образующие, приобретает сейчас большое значение.

В этой работе нам хочется поделиться результатами наблюдений за соляными озерами Приаралья, и в частности тенардитовыми озерами, и попытаться сделать некоторые выводы о процессах, происходящих в этих озерах в настоящее время.

### ІІ. ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ СОЛЯНЫХ ОЗЕР ПРИАРАЛЬЯ

В течение десятилетий многими исследователями делались попытки разработать рациональную систему классификации соляных озер, объемлющую если не все, то боль-

шинство их. Но создание такой системы—дело необычайно сложное из-за большого разнообразия как самих соляных озер с крайней изменчивостью их жидкой и даже твердой фазы, так и условий внешней среды, действующей на них.

В последние годы наибольшее распространение получила классификация соляных озер, разработанная М. Г. Вальяшко [2] и принятая Всесоюзным научно-исследовательским институтом галургии. Она классифицирует озера по концентрации, по составу, по состоянию озерного рассола, по наличию твердых отложений солей и их составу.

В первые годы изучения Трестом соляных озер Северо-Восточного Приаралья в 1945—47 гг. мы столкнулись с большим разнообразием минерального состава солевых залежей этих озер и попытались разделить их на группы по минеральному составу. Выделив группу мирабилитовых озер, затем должны были выделить тенардитовые озера, потом тенардитово-мирабилитовые. Когда же началось изучение озер, имеющих сверху пласт галита, классификационные подразделения стали расти, как снежный ком — появились галитовые озера, галито-тенардито-мирабилитовые, галито-астраханито-мирабилитовые, галито-астраханито-тенардитовые, галито-астраханито-эпсомитовые, а затем и галито-тенардито-астраханито-мирабилитовые и галито-астраханито-эпсомито-мирабилитовые и пр. Когда же во многих озерах были обнаружены прослой глауберита, названия их еще более усложнились, а озера стали несопоставимыми. Что ни озеро, то новый тип. И все это — в пределах одного Джаксы-Клычского месторождения. Одна из попыток такого деления соляных озер нашла свое отражение в статье «Джаксы-Клычское месторождение сульфатов» [6].

Рассмотрев впоследствии все это разнообразие сочетаний минералов солевых залежей, мы пришли к выводу о необходимости какого-то более рационального разделения озер, основанного не только на минеральном составе залежей.

По концентрации озерного рассола все озера месторождения относились к соляным озерам, но со значительными колебаниями концентрации рассола как в течение года, так и в разных частях одного озера. По составу рассола все озера относились к сульфатному типу, но разделение их на сульфатно-магниевый и сульфатно-натриевый подтипы оказалось весьма трудным; так, даже в озерах с солевой залежью, состоящей только из пласта мирабилита, иногда рапа из натриевого переходила в магниевый подтип, а на некоторых в одной половине озера она была сульфатно-

натриевой, а в другой — хлоридно-магниевой. Что касается озер с несколькими пластами, даже заключающими пласты галита и астраханита, то иногда в верхней части залежи их рапа была сульфатно-магниевой, а в нижней — сульфатно-натриевой, если внизу имелся пласт мирабилита. Коэффициенты метаморфизации во времени и в разных частях одного озера были предельно пестры. Это противоречит утверждению А. А. Иванова [8. стр. 51] о постоянстве состава межкристалльной рапы.

По состоянию озерного рассола все озера относились к «сухим» озерам. Выделение части мирабилитовых озер, в группу подпесочных было явно нецелесообразно. так как хотя уровень рапы в них в течение года всегда находился ниже поверхности солевой залежи, в группу с погребенной залежью эти озера не переходили.

Следовательно, классификация, основанная на различиях рассолов озер, также была недостаточна. Поэтому, учитывая минеральный состав солевых залежей и особенности рапы озер, обратились к режиму их, к условиям питания озер, к внешней среде, действующей которой объяснялись образование, изменение и исчезновение в солевых залежах тех или иных минералов и определялись пути развития озер.

Прежде всего можно было обратить внимание на подмеченное еще первыми исследователями озер Джаксы-Клычского месторождения обстоятельство, что по абсолютным отметкам поверхность озер с пластом мирабилита всегда несколько выше поверхности расположенных поблизости озер, имеющих пласт галита.

Близость к поверхности земли грунтовых сильно минерализованных вод, которые как бы дренировались соляными озерами, наличие на озерах многочисленных промоин — «окоп» — вместе с другими фактами заставляли предположить, что соляные озера тесно связаны с грунтовыми водами и в то же время, что характер этой связи различен для озер с пластом мирабилита и для озер, имеющих сверху пласт галита. Последующие гидрогеологические работы, проведенные на месторождении в 1948—49 гг. Н. Ф. Лобановой совместно с автором, подтвердили это, показав, что *соляные озера здесь питаются солями главным образом за счет грунтовых и напорных, подземных вод, что озера с пластом мирабилита обычно располагаются на склонах водоразделов грунтовых вод, а озера с пластом галита на участках с наиболее низким положением зеркала грунтовых вод, чем, в*

*основном, и объясняется одноминеральный состав первых и многоминеральный состав вторых.*

Ясно было также, что при данном состоянии грунтовых вод и существующих климатических условиях озера, имеющие пласт галита и пласты сульфатных минералов, являются в настоящее время конечными, собирающими из грунтовых вод все соли, растворенные в них, а озера с пластом мирабилита являются для грунтовых вод проточными, т. е., кроме привноса в эти озера солей, существует и вынос из них солей, мигрирующих дальше к расположенным ниже по потоку озерам с галитом.

Все это, вместе с различиями в режиме и строении, позволило разделить озера месторождения на группу **мирабилитовых озер** (иногда их называют сульфатниками), заключающих только пласт мирабилита, и группу **галитовых озер**, имеющих, **сверху** пласт галита, а под ним большей частью пласты одного или нескольких, сульфатных, минералов.

Впоследствии пришлось выделить и группу тенардитово-мирабилитовых, или **тенардитовых** озер. Положение ее, как это указывалось в статье "Галитовые озера Приаралья" [7] является промежуточным между мирабилитовыми и галитовыми озерами как по условиям питания и режима этих озёр, так и по возможности при изменении этих условий преобразования в нее как галитовых, так и мирабилитовых озер.

Конечно, деление озер на мирабилитовые, тенардитовые и галитовые не является чем-то новым: эти группы озер давно были известны. Озера относились к той или иной из этих групп по минеральному составу солевой залежи. Новым является несколько иное значение, которое вкладывается в эти понятия, а также более обоснованной и рациональный принцип разделения «сухих» соляных озер с твердыми соложениями солей.

В то же время необходимо подчеркнуть, что все эти группы, несомненно, родственны по своему образованию и режиму, чем объясняются отчасти и трудность проведения границы между этими группами, и большие градации в составе и строении солевых залежей озер внутри этих групп, связанные с возможностью перехода озер из одной группы в другую.

Так как основной задачей настоящей работы является освещение некоторых особенностей образования и условий залегания тенардита в соляных озерах, а также выводы из наблюдений за тенардитовыми озерами, то описание основ-

ных групп озер приводится здесь предельно кратко, только в части, необходимой для лучшего понимания условий залегания и образований тенардита.

1. **Галитовые озера** являются наиболее крупной и распространенной группой соляных озер в Приаралье. Они, как и озера других групп, представляют котловины, в наиболее пониженных частях которых расположена солевая залежь. Последняя в галитовых озерах слагается пластом галита и подстилающим его сульфатным пластом, который может быть представлен астраханитом, мирабилитом, эпсомитом и реже — тенардитом или сочетаниями их. В значительно более редких случаях сульфатный пласт в них отсутствует. Солевая залежь галитовых озер отделена от окружающих и подстилающих ее пород слоем ила и илистого песка, затрудняющим проникновение грунтовых вод в озеро и рапы из озера в окружающие породы. По берегам котловины слой ила и илистого песка поднимается несколько выше солевой залежи, образуя соры, окружающие озеро полосой. По границе сора и солевой залежи часто наблюдается сильное разжижение ила, делающее ее очень топкой; нередко здесь выходят очень мелкие роднички, отмечающиеся пятнами ожелезнения на серой поверхности сора (рис. 1).

Пласт галита на этих озерах представлен обычно так называемой «гранаткой», т. е. ноздреватым галитом с весьма слабо связанными между собой кристаллами и сростками. Пористость его часто превышает 30%. Верхняя часть пласта галита, представляющая слои новосадки и старосадки, обычно уплотнена, имеет весьма мало пор и часто плохо рапопроницаема. Такие уплотненные прослои (один-два) нередко встречаются и в толще гранатки. Значительно реже весь пласт галита является плотным, монолитным, почти без пустот. Максимальная мощность его в Приаралье достигает 2,5 м.

Сульфатный пласт, подстилающий галит, большей частью представлен слоем астраханита и залегающим под ним слоем мирабилита или эпсомита. Иногда последние отсутствуют, и астраханит залегает непосредственно на иле. В некоторых случаях на астраханите лежит слой тенардита,, встречаются два пласта астраханита, разделенные пластом мирабилита или эпсомита. По границам слоев сульфатного пласта часто наблюдается срастание минералов пограничных слоев. Граница между сульфатным пластом и пластом галита обычно неровная, но резкая; иногда здесь встречается прослой кашеобразного глауберита и ила.

Мощность сульфатного пласта изменяется от нескольких сантиметров до 3—4 м. Сульфатный пласт подстилается

слоем ила, нередко полужидкого, ниже которого лежат глины и значительно реже — илстые и глинистые пески. Сульфатный пласт, как правило, выклинивается к берегу значительно раньше, чем пласт галита. Последний после выклинивания основной мощности протягивается по направлению к сору на 10—20 м в виде корки толщиной от 5—6 до 2—3 см.

И пласт галита и сульфатный пласт круглый год пропитаны рапой, уровень которой не понижается более чем на 3—5 см ниже поверхности пласта галита, а в зимне-весеннее время поднимается на 0,2—0,5 м выше ее.

2. **Мирабилитовые озера** представляют собой котловины с солевой залежью, сложенной в основном только одним минералом — мирабилитом.

Слой ила, окружающий и подстилающий солевую залежь, иногда называемый иловой «подушкой», по берегам почти не поднимается выше ее поверхности; полоса сора на большей части периметра озера обычно отсутствует. Солевая залежь окружена полосой высоких бугров, сложенных песком, гипсом, обезвоженным мирабилитом и заросших солянками.

Пласт мирабилита на этих озерах, как правило, мелкопористый, часто монолитный, однако связь между кристаллами очень непрочная: при удалении межкристалльной рапы монолит мирабилита обычно рассыпается на отдельные кристаллы. Более прочен верхний слой мирабилита мощностью 0,2—0,5 м. Наиболее рыхлым является самый нижний его слой, граничащий с илом. Мощность пласта мирабилита в редких случаях достигает 1,5 — 2,0 м, большей частью она не превышает 1,0 м.

Рапа мирабилитовых озер очень редко поднимается выше поверхности солевой залежи, а летом уровень ее опускается на 0,2—0,5 м. ниже поверхности пласта мирабилита. Это ее относится к эксплуатируемым мирабилитовым озерам, на которых вследствие понижения поверхности солевой залежи уровень рапы зимой нередко повышается значительно выше последней.

Благодаря такому водному режиму мирабилитовых озер солевая залежь их всегда прикрыта слоем так называемого «нагара» — порошкообразного продукта обезвоживания мирабилита под воздействием атмосферы. Нередко нагар вместе с заносимым на озеро поверхностными водами и ветрами гипсом образует твердую бугристую корку. Гипс попадает в нее в значительной степени и за счет выпадения его на поверхности озера из капиллярно поднимающейся по пласту мирабилита рапы.

Иногда в верхнем слое мирабилита встречаются линзы и прослои тенардита.

Солевая залежь подстилается илом, постепенно переходящим книзу в илстый песок, который в свою очередь лежит на глинах или тонкозернистых песках (рис. 2).

В пласте мирабилита обычно содержится большое количество гипса. Особенно много гипса и нерастворимых примесей в прибрежных частях залежи. Встречаются участки, на которых содержание гипса достигает 50—60%. Обычно же оно колеблется от 1—2 до 6—8%.

3. **Тенардитовые озера** в Приаралье встречаются реже, чем галитовые и мирабилитовые озера.

Представители этой группы, несмотря на их малочисленность, очень разнообразны как по составу, так и по строению своих солевых залежей. Строение котловин тенардитовых озер большей частью близко к строению котловин галитовых озер, нередко это сходство увеличивается за счет внешнего вида солевой залежи, покрытой слоем галита и окруженной полосой сора. Встречаются тенардитовые озера, по своему строению близкие к мирабилитовым озерам, что подчеркивается наличием на их поверхности мощной гипсово-мирабилитовой корки с участками рыхлого порошкообразного нагара.

Солевая залежь тенардитовых озер в общем виде представлена пластом тенардита и подстилающим его пластом мирабилита. Но пласт тенардита в редких случаях обнажается на поверхности озера. Большой частью он прикрыт мощной бугристой гипсово-мирабилитовой коркой или слоем ила и глауберита, на котором часто лежит слой галита.

В пласте мирабилита и в нижних слоях пласта тенардита нередко встречается астраханит в виде прослоев, линз или отдельных кристаллов. Иногда на тенардитовых озерах пласт мирабилита отсутствует.

Мощность гипсово-мирабилитовой корки или слоя галита нередко достигает 20—40 см; мощность пласта тенардита чаще колеблется от 20 до 40 см, реже возрастает до 60—80 см. Пласт мирабилита значительно меняет свою мощность даже в пределах одного озера (от 20—30 см до 1,0 м и более).

На тенардитовых озерах уровень рапы обычно не опускается ниже пласта тенардита, если последний покрыт слоем ила и глауберита. Если на озере имеется слой галита, то уровень рапы не опускается ниже его поверхности; в зимне-весеннее время он поднимается значительно выше поверхности залежи. На тенардитовых озерах, покрытых гипсово-мирабилитовой коркой, рапа и зимой не поднимается

выше поверхности пласта тенардита, а летом опускается значительно ниже ее.

Пласт тенардита обычно имеет значительную примесь гипса и галита. Первый встречается в тонкокристаллическом виде и, очевидно, образовался в значительной части за счет разложения глауберита. Галит встречается как в тонкокристаллическом, так и в виде сравнительно крупных кристаллов, часто приуроченных к кавернам и полостям в пласте тенардита.

Солевая залежь тенардитовых озер подстилается слоем ила, переходящим книзу в илистый песок мощностью 0,2 — 0,5 м. Ниже лежат глины и, в более редких случаях, глинистые тонкозернистые пески. По краям солевой залежи мощность ила значительно увеличивается, он становится полужидким, топким (рис. 3).

### III. РАЗНОВИДНОСТИ ТЕНАРДИТОВЫХ ОЗЕР

Выше уже упоминалось о том, что тенардитовые озера очень разнообразны как по строению и внешнему виду, так и по составу солевой залежи. По нашему мнению, это разнообразие их форм показывает как пути изменения минерального состава соляных озер Приаралья, так и условия образования тенардита в них. Поэтому ниже приводится краткое описание нескольких тенардитовых озер, отличающихся друг от друга внешним видом, строением и минеральным составом. Расположение их см. рис. 4.

*Тенардитовое озеро 11г* расположено в котловине с пологими берегами, вытянутой с севера на юг. Солевая залежь озера окружена широкой в 50—100 м полосой сора, местами суживающейся до 10—20 м; между сором и солевой залежью располагается узкая заболоченная полоска полужидкого ила, покрытая корочкой галита, часто не выдерживающей тяжести человека.

Озеро обследовалось в 1947 и в 1950 гг. В 1954 и 1955 годах большая часть пласта тенардита была выработана.

Поверхность солевой залежи была ровная, покрыта слоем уплотненного галита, с мелкими «окнами» — промоинами, заполненными рыхлой новосадкой галита. В северо-западной части озера галит был разбит трещинами на многоугольники, по сторонам которых, местами возвышались невысокие бугры темносерого ила.

Сверху на озере залегал пласт галита. В 1947 г. мощность его на большей части озера достигала 0,4 - 0,5 м. Пласт галита был плотным, с небольшим количеством окон и выдерживал тяжесть автомашины. Под галитом местами залегал невыдержанный прослой глауберита от 0,1 м мощ-

ности. В 1950 г. мощность пласта галита оказалась значительно меньшей, колеблющейся в пределах 0,1 — 0,4 м. Галит стал очень рыхлым; появилось множество очень мелких окон, увеличилось его загрязнение; он часто не выдерживал и тяжести человека. Нижняя граница пласта стала неотчетливой. За этот же период значительно увеличилась мощность и площадь распространения слоя кашеобразного глау-

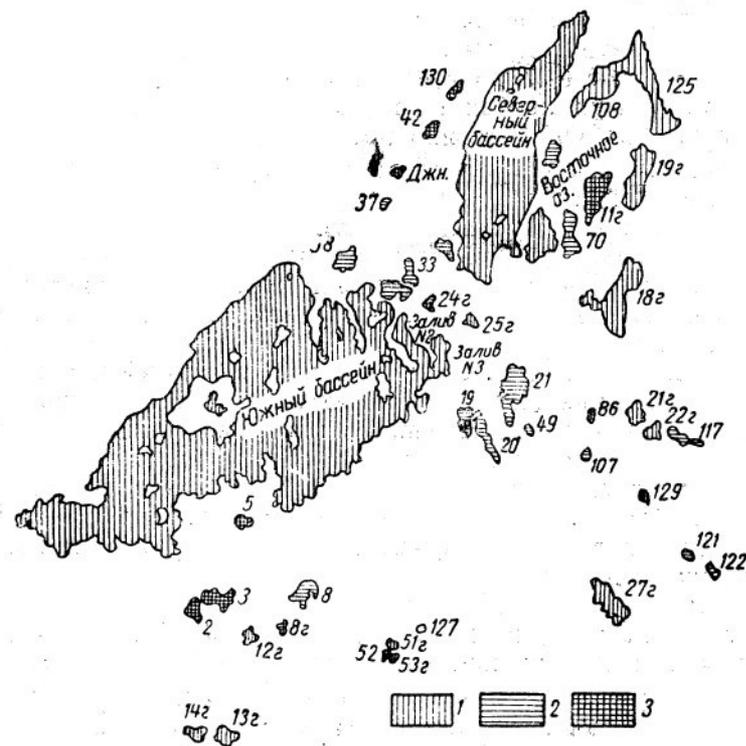


Рис. 4. Схема расположения основных соляных озер Джаксы-Клычского месторождения.

Условные обозначения:  
1 — галитовые озера; 2 — мирабилитовые озера;  
3 — тенардитовые озера.

берита с мелкими кристаллами галита, тенардита, гипса и частицами ила. При бурении скважин было установлено, что слой глауберита почти рапонепроницаем.

Под глауберитом и реже прямо под галитом на озере залегал пласт тенардита. Граница между ними очень неровная из-за сростков тенардита, выступающих над пластом, и карманов внутри него. Пространство между сростка-

ми и в карманах большей частью было заполнено глауберитом.

Пласт представлен сравнительно рыхлым тенардитом, легко разламывающимся на отдельные сростки кристаллов, с пустотами, заполненными глауберитом и рапой, а в зимнее время и мирабилитом. Мощность пласта тенардита изменялась от 0,1 до 0,5 м. Граница между тенардитом и подстилающим его на большей части площади озера мирабилитом неотчетливая.

Тенардит на озере чистый. В нем и в подстилающем его мирабилите содержание  $MgSO_4$  колебалось от 0,0 до 4,0%,  $CaSO_4$  — от 0,27 до 3,40% и содержание  $NaCl$  от 0,59 до 7,69%. В двух пробах из придонного слоя мирабилита содержание  $CaSO_4$  составило 9,35 и 21,59%.

Пласт мирабилита на озере малопористый, плотный. В верхней его части встречается много кристаллов тенардита, а в нижней — резко увеличивается количество ила, пласт становится рыхлым. Мощность его по озеру изменяется от 0,3 до 1,5 м. У берегов озера пласт резко выклинивается, как и лежащий на нем пласт тенардита. Галит здесь подстилается илом.

Под мирабилитом залегает слой ила, в верхней части которого много кристаллов тенардита. Ил большей частью имеет полужидкую консистенцию, книзу ил уплотняется и постепенно переходит в зеленовато-серый илистый песок. Общая мощность их под мирабилитом не превышает 0,3—0,4 м. Ил подстилается охристо-желтой глиной 0,3—0,5 м мощности, под которой лежит голубовато-серая, плотная, очень пластичная глина.

У берегов озера, где сульфатный пласт отсутствует, мощность ила резко возрастает, достигая 0,8—1,2 м, причем ил здесь имеет очень жидкую консистенцию.

Уровень рапы на озере в летнее время почти не опускался ниже поверхности пласта галита, а зимой поднимался значительно выше ее. По границе сора и подъема береговой террасы хорошо заметны участки, покрытые бугристой гипсовой коркой.

После начала эксплуатации в 1954 и 1955 гг. долгое время откачкой не удавалось понизить уровень рапы до подошвы пласта тенардита. В сентябре 1955 г. уровень рапы неожиданно упал на 15—20 см ниже поверхности пласта мирабилита. Откачка в это время не производилась. Причина этого явления пока не выяснена. После понижения уровня рапы ниже поверхности пласта тенардита он, как правило, через некоторое время становится более плотным, монолитным, иногда превращается в плиту. Такая плита образовалась и на части озера 11г.

*Тенардитовое озеро 24г* расположено на перемычке между Северным и Южным бассейнами озера Джаксы-Клыч. Длинным, протоковидным сором оно соединяется с одним из заливов Южного бассейна. Озеро окружено полосой сора, заболоченного по границе с солевой залежью.

Пласт тенардита на озере выработан в 1950 г. При его обследовании в 1948 г. озеро было покрыто слоем галита мощностью в 0,1—0,4 м, пористого, рыхлого, с многочисленными мелкими промоинами — «окнами», частично заполненными новосадкой галита; передвижение по озеру даже пешком было затруднено. Галит был сильно загрязнен; в нижней части слоя галит постепенно переходил в глауберит с кристаллами галита и тенардита. Глауберит заполнял неровности кровли пласта тенардита. На озере 24г в 1948 г. наблюдалась почти та же картина, что и на озере 11г в 1950 году.

Верхняя поверхность пласта тенардита очень неровная, с многочисленными сростками, выступающими над его поверхностью, и с карманами, заполненными глауберитом и рапой.

Пласт был представлен рыхлым, пористым тенардитом, легко разламывавшимся на отдельные сростки кристаллов, с многочисленными кавернами. Мощность пласта тенардита по озеру изменялась от 0,2 до 0,6 м. Содержание в нем нерастворимых примесей составляло доли процента, содержание  $CaSO_4$  — от 1,56 до 8,24%,  $MgSO_4$  — от 0,45 до 4,21%,  $NaCl$  — от 2,76 до 44,5%; последнее, главным образом, за счет заполнения галитом каверн в верхней части пласта тенардита; в самом же пласте оно не выше 4 — 6%.

Тенардит подстилался пластом мирабилита, монолитным, малопористым, мощностью от 0,5 до 1,5 м. Содержание в нем нерастворимых примесей изменялось от 0,11 до 0,80%, содержание  $CaSO_4$  от 0,94 до 6,62%,  $MgSO_4$  от 0,35 до 11,04%,  $NaCl$  от 1,57 до 32,95% (одна проба).

Мирабилит подстилается слоем ила, ниже которого залегает коричневая глина.

Необходимо отметить, что в пласте тенардита содержание  $MgSO_4$  только в отдельных случаях превышало 3%, в то время как в пласте мирабилита оно часто достигало 6 — 8% в основном за счет верхних его слоев, где были встречены кристаллы и небольшие линзы астраханита.

Обследование озера в 1955 году показало, что на месте выработанного пласта тенардита в пониженных частях залежи образовался новый слой тенардита мощностью до 28 см, залегающий на мирабилите и прикрытый сверху слоем глауберита и корочкой галита.

Тенардитовое озеро 130 было обследовано в 1950 г.

Озеро находится в Глубокой котловине с пологими берегами; оно вытянуто с севера на юг и представляет расширенный и углубленный участок древней протоки, продолжающейся на некоторое расстояние и к северу и к югу.

Поверхность большей части озера покрыта ровной коркой галита; местами над ней выступают бугры ила. В южной части озера на поверхности под тонкой корочкой галита лежит слой ила, Солевая залежь окружена широкой полосой сора, заболоченной по границе с ней.

В южной части озера под слоем черного вязкого ила в 5 — 15 см залегают слои рыхлого галита — «гранатки» в 0,10 — 0,20 м мощностью; в остальных частях озера под коркой галита также находится слой гранатки, отделенный от корки тонким прослоем черного ила. В нижней части слоя галита появляются зерна глауберита, ниже выделяющегося в самостоятельный прослой мощностью от 1 до 10 см, сглаживающий неровности пласта тенардита.

Верхняя граница пласта тенардита очень неровная, но отчетливая. Мощность пласта тенардита по озеру изменяется от 0,3 до 0,7 м. У берегов и в самой северной части озера сульфатный пласт отсутствует, и под слоем галита и глауберита залегают черный полужидкий ил. Тенардитовый пласт на озере представлен сравнительно рыхлым пористым тенардитом в виде сростков и кристаллов, очень чистых, воднопрозрачных и часто хорошо ограненных, сравнительно слабо связанных между собой, достигающих иногда 3—4 см в длину. Небольшая часть пустот в тенардитовом пласте заполнена глауберитом и значительная — рапой, а в зимнее время — мирабилитом. Пласт мирабилита на озере отсутствует; тенардит подстилается илом.

В пласте тенардита содержание  $\text{CaSO}_4$  колеблется от 0,41 до 1,77%,  $\text{NaCl}$  от 0,89 до 5,24%, нерастворимых примесей от 0,03 до 0,32% и  $\text{MgSO}_4$  от 0,20 до 1,09%. Средневзвешенное по озеру содержание  $\text{NaCl}$  равно 2,21%,  $\text{CaSO}_4$  — 0,94% и  $\text{MgSO}_4$  — 0,67%. Приведенные данные указывают на большую чистоту тенардита озера, на незначительную, смесь  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  и нерастворимых примесей.

*Тенардитовое озеро 125* — самое крупное тенардитовое озеро Приаралья и по размерам значительно превосходит другие тенардитовые озера. Оно расположено восточнее Северного бассейна озера Джаксы-Клыч и через озеро 108 соединяется с ним протокой, имеющей форму долины, по которой и летом, наблюдается слабый ток рапы.

Озеро имеет протоковидную форму и по своим очертаниям напоминает букву Г, причем ветви его соединяются на севере, образуя здесь расширенный участок; такое же расши-

рение имеется в юго-восточной части восточной ветви, значительно более узкой и длинной, чем западная ветвь озера.

Восточный берег высокий и сравнительно крутой; столь же высок, но менее крут северо-западный берег озера; в остальных частях берега более низкие и пологие. В пределах солевой залежи озера расположено несколько низких болотистых островков, почти не поднимающихся над поверхностью солевой залежи.

Озеро обследовалось в 1948 г., восточная ветвь повторно обследовалась в 1950, а западная ветвь — в 1955 г.

Солевая залежь озера окружена очень широкими, полого поднимающимися, нередко болотистыми сорами, наиболее топкими по границе с солевой залежью. Вдоль южного берега восточной ветви, где ширина сора сравнительно велика, на соре близ границы его с солевой залежью наблюдается уступ до 0,4—0,5 м, высоты.

В северной части озера имеется несколько мелких самоизливающихся источников с почти пресной водой; здесь же расположены два островка, поросшие тростником, также указывающие на выход здесь на поверхность горизонта со слабосолеными или пресными водами. С севера к озеру протягиваются протоковидные понижения, дно которых лишено растительности и сложено тонким илистым песком. Далее к северу от озера расположен крупный песчаный массив.

Самая северная часть озера не имеет пластов солей; их место здесь занимает слой черного и темносерого полужидкого и местами уплотненного ила с зернами глауберита.

Солевые отложения озера представлены тенардитом, мирабилитом, глауберитом, астраханитом и галитом.

При обследовании озера летом 1948 г. его поверхность была разнородна. Восточная часть восточной ветви представляла обширное топкое пространство, на котором на поверхность выходил черный и коричневатый ил с возвышавшимися над ним на 10 — 20 см «нашлепками», имевшими 10 — 30 м в поперечнике, сложенными гипсом, мирабилитом, илом, покрытыми слоем нагара или бугристой гипсовой коркой. На пониженных участках изредка встречались лужицы рапы, на поверхности которой плавали тонкие квадратные пирамидки галита. Средняя часть восточной ветви была покрыта корочкой галита, до 2 см мощности, под которой лежал слой черного полужидкого ила. В северной части солевой залежи слой галита местами достигал 3—4 см и иногда даже выдерживал тяжесть человека. На значительной части западной ветви озера на поверхность выходил пласт галита от 10 до 30 см мощности с буграми ила, выжатого на поверхность по трещинам. Самая южная часть западной

ветви озера — озеро 108—была покрыта слоем топкого ила с почти такими же нашлепками, как и в восточной ветви озера.

Подходы к озеру, и особенно к его западной ветви, были сильно затруднены из-за большой ширины заболоченной, топкой части сора. Поэтому, очевидно, это озеро в 30-х годах и называлось «Грязным», «Топким» и подробно не обследовалось.

В 1950 г. на восточной ветви озера галита почти не оставалось; тонкая корочка галита толщиной в 1—2 мм оставалась только в ее северной половине. В 1955 г. и в западной ветви озера вместо пласта в 10—30 см была обнаружена на небольших участках только корочка галита до 1—2 см мощности, да отдельные кристаллы в слое ила и глауберита.

Как под корочкой галита, так и непосредственно на поверхности озера лежит слой ила черного, иногда серого и реже — темнокоричневого цвета; то полужидкого, то более плотной консистенции, в зависимости от уровня рапы в этой части озера. Мощность ила изменяется от 3—4 до 20—25 см. Близ границ залежи она значительно увеличивается, достигая 0,6—1,0 м. Велика она и в «окнах», т. е. на участках солевой залежи, где пласты солей отсутствуют.

В 1950 г. на значительной части восточной ветви, а в 1955 г. и западной было отмечено значительное уплотнение слоя ила на участках, где в 1948 г. он был полужидким, а местами и связанное с этим заметное уменьшение его мощности.

Почти по всему озеру слой ила подстигается слоем глауберита. На многих участках, где слой ила и галита отсутствует, глауберит выходит на поверхность озера; количество таких участков увеличилось в 1950 г. и еще больше в 1955 г. В этих случаях глауберит часто покрывается неровной коркой различной толщины, состоящей в основном из сцементированных продуктов распада глауберита—гипса, мирабилита или тенардита—и большей или меньшей примеси ила. Мощность глауберита колеблется в широких пределах, изменяясь от 2—4 до 10—20 см. Местами он отсутствует.

Глауберит здесь обычно серого цвета, неоднородный, зернистый, в виде кашеобразной массы, состоящей из белых зернышек и обволакивающего их темносерого ила; зернышки его раздавливаются пальцами; он рыхлый, скрытокристаллический, в слое почти рапонепроницаемый; извлеченный на поверхность, он разваливается на комки, а через несколько дней после высыхания сильно уплотняется, образуя пористую массу, напоминающую гипсово-мирабилитовую корку некоторых тенардитовых озер. Химические анализы показали, что этот кашеобразный глауберит содержит, кроме минерала глауберита, весьма значительные количе-

ства ила (до 10—15%), галита (до 8—12%), магниезильных солей (до 7—9%) и, разумеется, продукты распада в виде гипса и мирабилита или тенардита.

Залегающий под глауберитом, иногда под илом и значительно реже прямо на поверхности пласт тенардита неодинаков на различных участках озера. На большей части озера под глауберитом он рыхлый; извлеченные из пласта сростки и друзы легко разламываются на отдельные кристаллы; в нем много пустот, заполненных глауберитом или рапой, а в зимнее время и мирабилитом. Кристаллы большей частью полупрозрачные, серые, реже встречаются прозрачные бесцветные кристаллы 1—2 см в поперечнике. На некоторых участках, особенно под слоем галита, тенардит еще более рыхлый, а на других — под слоем уплотненного глауберита и ила—более плотный, с меньшим количеством пустот, с более тесным срастанием кристаллов, причем верхняя часть, летом находящаяся выше уровня рапы, менее рыхлая, чем нижняя. На участках, где встречаются «нашлепки», пласт тенардита еще более плотный, монолитный, с большим количеством плотно сросшихся кристаллов, нередко в виде плиты. Нижняя часть последней, и летом погруженная в рапу, на своей нижней поверхности имеет большое количество часто очень крупных, хорошо ограненных прозрачных кристаллов. Под этой плитой заключено много пустот, обособляющих ее от нижней части пласта тенардита, которая обычно представлена слабо связанными между собой кристаллами и сростками.

Мощность пласта тенардита по озеру изменяется от 0,05 до 0,80 м, средняя мощность — 0,33 м. В одной скважине мощность тенардита оказалась равной 1,2 м. Местами как в прибрежных, так и в центральных частях озер пласт тенардита отсутствует, и его место занимает мирабилит. Это наблюдается на участках, покрытых слоем ила и глауберита, и под некоторыми «нашлепками».

На большей части площади озера тенардит подстигается пластом мирабилита, сравнительно плотного, часто загрязненного илом, похожего на слой мирабилита мирабилитовых озер, даже летом покрытые рапой. Мощность его изменяется от 0,2 до 1,5 м. В большинстве выработок в верхнем слое мирабилита в 1948 г. отмечено большое количество кристаллов тенардита, в других — кристаллов астраханита, что подтверждается и повышенным содержанием  $MgSO_4$  в химических анализах проб, отобранных из этого слоя. В некоторых из многочисленных выработок, главным образом в западной ветви озера, между тенардитом и мирабилитом обнаружен прослой астраханита 0,04—0,20 м мощности. В двух — трех выработках, расположенных в прибрежных ча-

стях залежи, отмечен пласт астраханита вместо пласта тенардита. Ниже его залегает мирабилит. В нескольких скважинах в пласте мирабилита был обнаружен прослой черного ила до 0,1 м мощности.

Пласт мирабилита подстилается слоем черного ила, как плотного, так и полужидкого, резко пахнущего сероводородом. Под илом залегают коричневые глины и реже—слой листового песка. Мощность слоя ила—0,2—0,4 м — местами увеличивается до 0,6 м.

Приведенный выше порядок чередования пластов солей наблюдается по всему озеру. Однако в отдельных выработках было обнаружено и аномальное чередование слоев. Так, в северной части озера, на небольшом участке, изолированном от остальной солевой залежи топким илом, залегающим сверху до подстилающих солевую залежь глин, двумя скважинами из шести была обнаружена линза галита, залегающая под пластом тенардита, на котором сверху залегал второй слой галита. Мощность нижнего прослоя—0,2—0,4 м. Эту линзу подстилает пласт астраханита и мирабилита. В западной ветви озера в 6 скважинах из 70 под пластами тенардита и мирабилита был обнаружен слой астраханита мощностью в 4—8 см и в двух скважинах — мощностью 20—25 см. Мощность вышележащего пласта мирабилита в этих скважинах около метра. Данные химических анализов указывают на наличие нескольких таких линз и в восточной ветви озера. В трех скважинах, расположенных в прибрежных частях залежи, было обнаружено по два пласта тенардита, разделенных в двух случаях прослоем мирабилита мощностью 0,1 м и в одном случае — астраханита мощностью 0,05 м. Суммарная мощность тенардита в этих скважинах равна 0,42 м, 0,96 м и 1,20 м, что в несколько раз превышает среднюю мощность пласта тенардита на озере.

Характеристика химического состава солевой залежи 125 озера также имеет свои особенности. При обследовании озера в 1943 г. было установлено, что, в восточной ветви озера содержание  $MgSO_4$  в сульфатном пласте значительно ниже, чем в западной ветви. В то же время содержание  $CaSO_4$  в среднем выше в восточной ветви, чем в западной. Содержание  $NaCl$  очень пестро и колеблется от долей процента до 8—10%.

Результаты химических анализов послонных проб, отобранных в 1948 г. показали наличие в сульфатной залежи озера (без слоя галита) от 0,23 до 12%  $NaCl$ , от следов до 32%  $MgSO_4$ , от 0,31 до 20,74%  $CaSO_4$ . Средние по озеру содержания их были равны:  $Na_2SO_4$ —87,59%,  $CaSO_4$  - 4,2%;  $NaCl$  - 2,43%,  $MgSO_4$  — 3,98%.

Для восточной ветви озера среднее содержание  $Na_2SO_4$

было равно 90,65%,  $CaSO_4$  — 4,96%,  $NaCl$  - 2,12%,  $MgSO_4$  - 2,13%. Для западной ветви оно было равно:  $Na_2SO_4$  — 85,93%,  $CaSO_4$ —3,31%,  $NaCl$  — 2,81%,  $MgSO_4$  — 6,18%;

Значительно разнится соотношение примесей в пласте тенардита и в пласте мирабилита. В пласте тенардита в среднем по озеру содержалось 3,94%  $CaSO_4$ , 4,01%  $NaCl$ , 2,88%  $MgSO_4$ , а в пласте мирабилита — 4,30% -  $CaSO_4$ , 1,88%  $NaCl$ , 4,51%  $MgSO_4$ .

В восточной ветви озера пласт тенардита в среднем содержал: 3,90%  $CaSO_4$ , 3,02%  $NaCl$ , 2,38%  $MgSO_4$ , а в западной ветви — 4,03%  $CaSO_4$ , 5,86%  $NaCl$  и 3,83%  $MgSO_4$ .

В восточной ветви озера пласт мирабилита в среднем содержал 5,03%  $CaSO_4$ , 1,91%  $NaCl$ , 2,17%  $MgSO_4$ , а в западной ветви — 3,17%  $CaSO_4$ , 1,83%  $NaCl$ , 8,17%  $MgSO_4$ . Надо отметить, что в 1948 г. линзы астраханитов сульфатном пласте не выделялись, что, несомненно, увеличивало содержание  $MgSO_4$  в пласте мирабилита, главным образом в западной части озера, где их было больше.

В восточной ветви озера, в ее южной и северной половинах, содержание примесей в пласте тенардита также было неодинаковым. При этом в южной половине восточной ветви, лишенной даже корочки галита, в 1948 г. среднее содержание  $CaSO_4$  было 4,63%,  $NaCl$  — 2,86%,  $MgSO_4$  - 1,98%, а в ее северной половине, которая в это время сверху была; покрыта корочкой галита до 2—4 см толщины/среднее содержание  $CaSO_4$  было 2,79%,  $NaCl$  — 3,28%,  $MgSO_4$  — 2,98%.

Приведенные средние содержания основных примесей в сульфатных пластах озера основываются на 644 химических анализах проб, отобранных из 215 выработок (шурфов и скважин), равномерно распределенных по площади озера.

Повторное обследование пласта тенардита восточной ветви озера в 1950 г. показало среднее содержание в нем  $CaSO_4$ —2,81%,  $NaCl$  — 2,38%,  $MgSO_4$  — 1,71%. Эти данные говорят о том, что за два года в восточной ветви озера в пласте тенардита произошло уменьшение содержания  $CaSO_4$  более чем на 1,0%,  $NaCl$  на 0,64% и  $MgSO_4$  на 0,67%.

Повторное обследование сульфатного пласта западной ветви озера в 1955 г. показало среднее содержание в пласте тенардита  $CaSO_4$  - 2,74%,  $NaCl$  — 2,80%,  $MgSO_4$  — 2,43%, т. е. за семь лет здесь в пласте тенардита произошло уменьшение содержания  $CaSO_4$  на 1,27%,  $NaCl$  на 3,06% и  $MgSO_4$  на 1,40%.

Таким образом, на 125 озере из-за его больших размеров, большой протяженности и некоторых различий в режиме и условиях питания различных участков озера можно в различных его частях обнаружить черты строения и состава соле-

вых залежей, характерные для большинства разновидностей тенардитовых озер месторождения, что дополняется и изменениями, происходившими в озере за последние 8 лет.

*Тенардитовое озеро 129* расположено в сравнительно глубокой котловине с крутыми берегами и окружено болотистым сором. При обследовании озера в 1950 г. и в 1955 г. сверху на нем залегал слой вязкого черного ила, местами с незначительной корочкой галита, с прослоем глауберита в нижней части слоя. В южной части озера залегает слой рыхлого галита — «гранатки», прикрытый сверху слоем черного ила. Мощность ила и глауберита колеблется от 5 до 45 см.

Пласт тенардита представлен плотным тенардитом молочно-белого цвета с многочисленными крупными пустотами, вытянутыми в вертикальном направлении так, что пласт с поверхности напоминает пчелиные соты. Тенардит между пустотами представлен плотно сросшимися кристаллами. Мощность тенардита изменяется от 0,15 до 0,40 м. В сентябре 1950 г. рапа в озере находилась на уровне поверхности пласта тенардита. Ил, залегающий на нем, был полужидким. В сентябре 1955 г. уровень рапы находился на 30—40 см ниже поверхности пласта тенардита. Слой ила заметно уплотнился.

Тенардит по составу неоднороден. Содержание в нем  $MgSO_4$  изменяется от 0,54 до 4,7%, среднее содержание близко к 2,5%. Содержание  $CaSO_4$  в пласте изменялось от 0,61 до 7,8% и средневзвешенное — 2,85%. В 1950 г. максимальное содержание  $NaCl$  в тенардите было 12,48% и средневзвешенное — 3,83%. В 1955 г. содержание  $NaCl$  сильно уменьшилось.

Под тенардитом залегает пласт астраханита от 0,2 до 0,6 м мощности. В верхних слоях его много кристаллов тенардита, а в нижних — мирабилита. На одной части озера под астраханитом лежит слой мирабилита 0,1—0,3 м мощности, на другой — астраханит подстилается илом.

*Тенардитовое озеро 108* является самой южной частью западной ветви тенардитового озера 125. Оно окружено широкой полосой сора, очень топкой близ солевой залежи. За перегибом соровой полосы от озера на юго-запад тянутся овражки глубиной до 0,5 м, сливающиеся и образующие небольшой ручеек, протекающий в узкой долине и впадающий в Северный бассейн. В ручье заметен слабый ток рапы, даже в самое жаркое время года.

Поверхность солевой залежи очень неровная — среди пониженных участков, покрытых слоем топкого ила, островами возвышаются «нашлепки», покрытые толстым слоем на-

гара. На пониженных участках под слоем полужидкого ила залегает пласт тенардита, представленный главным образом друзами слабо связанных между собой кристаллов с большим количеством пустот. На повышенных участках залегает тенардитовая плита из сероватых, плотно сросшихся кристаллов; в нижней части ее кристаллы крупные, хорошо огранены. Под плитой лежит слой тенардита, представленный также друзами слабо связанных кристаллов, отделенный от нее слоем с многочисленными соединенными между собой пустотами, по которым циркулирует рапа. На наиболее высоких «нашлепках», покрытых слоем нагара, тенардит под слоем нагара часто отсутствует, и его место занимает мирабилит. Кое-где в плите тенардита хорошо заметны следы растворения тенардита в виде многочисленных пустот, делающих ее ажурной.

Мощность тенардита изменяется от 0,2 до 0,6 м; нередко встречаются участки без сульфатного пласта, в виде своеобразных окон, заполненных только илом и глауберитом. В юго-западной части озера пласт тенардита отсутствует, а его место занимает мирабилит. В северо-западной части озера вместо тенардита также залегает мирабилит, а в двух шурфах здесь была обнаружена линза астраханита.

Рапа на озере в 1947 г. летом стояла близ поверхности пласта тенардита, а в пониженных участках местами выступала на поверхность или находилась на уровне поверхности пласта тенардита. На повышенных участках ее уровень был лишь немного выше нижней поверхности тенардитовой плиты, а местами и ниже ее. Слои тенардита со слабо связанными кристаллами, как правило, летом находились ниже поверхности рапы. В зимнее время уровень рапы поднимался выше поверхности залежи на пониженных участках, но не покрывал слоя нагара на «нашлепках», а в некоторых местах и поверхности тенардитовой плиты.

В целом по озеру содержание  $MgSO_4$  невысокое и, кроме двух шурфов с астраханитом, изменяется от 0,22 до 6,0%. Содержание  $NaCl$  изменяется от 0,06 до 8,38%. Содержание  $CaSO_4$  по озеру колеблется в широких пределах, изменяясь от 0,13 до 30,13%. Средневзвешенное содержание  $Na_2SO_4$  было равно 81,83%,  $CaSO_4$  — 9,65%,  $MgSO_4$  — 3,34%,  $NaCl$  — 3,62%, нерастворимых примесей — 0,63%.

Очевидно, высокое содержание  $CaSO_4$  в верхних слоях приурочено к пониженным участкам залежи, где тенардит залегает в виде друз с большим количеством пустот, заполненных глауберитом, который вместе с илом покрывает здесь пласт тенардита и сверху.

Пласт тенардита на озере местами подстилается мира-

билитом, а в некоторых участках его лежит на слое полужидкого ила.

*Тенардитовое озеро 8т* расположено в южной части месторождения. Тенардит на этом озере был выработан в течение 1945—1950 гг. Оно окружено сравнительно узкой полосой сора. Пласт тенардита здесь был покрыт мощной гипсово-мирабилитовой бугристой коркой-до 0,2—0,4 м мощности с отдельными участками, покрытыми рыхлым, нагаром. Нижняя часть ее слагалась воздушно-пористым мирабилитом, очень сильно загрязненным гипсом и нерастворимыми примесями.

Пласт тенардита на озере был представлен плотным серым среднекристаллическим тенардитом с малым количеством пустот, с почти горизонтальной поверхностью. Верхняя часть пласта представляла плиту из плотно сросшихся и прососших друг в друга кристаллов тенардита. Нижняя часть пласта более пориста. Под тенардитом залегают пласт мирабилита. Между ними на части озера была встречена линза астраханита. Галит присутствовал только в виде примеси в сульфатных пластах. Уровень рапы на озере в зимнее время поднимался до поверхности пласта тенардита. Через 2-3 года после снятия пласта тенардита на пласте мирабилита образовалась корка тенардита толщиной до 5-6 см, которая была снята в 1951 г.

Обследование озера в 1955 г. показало, что на нем залегают пласт мирабилита до 1,0 м мощности, покрытый бугристой сульфатной коркой. Уровень рапы в сентябре был на 45 см ниже поверхности мирабилита. В 1948 г. летом уровень рапы не опускался ниже поверхности пласта мирабилита, несмотря на регулярную откачку рапы из озера мощным насосом.

*Тенардитовое озеро 8б* расположено в юго-восточной части месторождения. Тенардит на озере выработан зимой 1948—1949 г. Пласт тенардита на части озера был прикрыт гипсово-мирабилитовой коркой, местами слоем рыхлого нагара, а на части озера выходил на поверхность в виде плиты с гладкой горизонтальной поверхностью. Верхняя часть пласта была сложена слитной массой плотно сросшихся сероватых кристаллов тенардита, почти без пустот. Плита была настолько прочной, что с большим трудом поддавалась выламыванию с помощью клиновых работ.

Рапа на озере летом стояла на 0,3—0,4 м ниже поверхности пласта; в зимнее время, судя по слою рыхлого нагара на его поверхности, рапа не поднималась выше поверхности пласта тенардита. Мощность пласта тенардита колебалась от 0,2 до 0,3 м. На части озера под тенардитом залегал слой

астраханита, под которым лежал пласт мирабилита. Местами тенардит подстилался мирабилитом с многочисленными кристаллами тенардита. Астраханит и мирабилит были очень сильно загрязнены гипсом. Тенардит содержал значительно меньшие количества гипса. В северной части озера тенардит отсутствовал.

Обследование озера в 1955 г. показало наличие пласта мирабилита мощностью до 0,45 м, прикрытого слоем нагара до 8 см мощности. Уровень рапы в сентябре был на 0.35—0,45 м ниже поверхности залежи.

На Джаксы-Клычском месторождении, кроме описанных выше, было обследовано еще несколько тенардитовых озер. Целесообразно остановиться на некоторых чертах строения солевых залежей и этих озер.

*Озеро, названное Жиеналневским* (рис. 4—Джн), из солевой залежи которого часть пласта тенардита была извлечена в 1950—1951 гг., по строению солевой залежи очень похоже на тенардитовое озеро 24г. В нем под слоем галита и глауберита залегают пласт тенардита, который на части озера подстилается слоем астраханита. Ниже лежит пласт мирабилита. В северной части озера прослой астраханита отсутствует. Уровень рапы до выработки тенардита летом достигал поверхности галита, а зимой поднимался выше ее. В сентябре 1955 г. в южной части, где тенардит был частично выработан, на оставшейся нижней части пласта залегал слой ила и глауберита, покрытый коркой галита. Уровень рапы здесь был на 3—5 см ниже поверхности залежи. В северной части, где пласт тенардита не был удален, уровень рапы находился несколько ниже поверхности тенардита, прикрытого здесь слоем глауберита и ила. Тенардит в этой части озера был более плотен, чем в южной части озера.

Близ озера 8б в 1949 г. было обнаружено маленькое безымянное озеро, на котором сверху, прикрытый 1—2 см нагара, залегал пласт очень твердого монолитного тенардита (плита), под которым залегал пласт мирабилита. Уровень рапы летом был на 0,3 м ниже поверхности залежи.

Два таких же озера с таким же строением залежи и столь же твердым пластом тенардита были в 1949 г. обнаружены между озером Жиеналиева и выработанным тенардитовым озером 42.

На *озере 127* под илисто-гипсовой коркой залегают слои тенардита 5—10 см мощности, который подстилается слоем, полужидкого ила, книзу переходящим в илистый песок. Пласт мирабилита отсутствует.

Представляют некоторый интерес повторно обследован-

ные в 1955 г. тенардитовые озера, пласт тенардита которых был выработан до 1946 г.

На озере 42 под слоем нагара в 5—8 см залегает пласт мирабилита до 1,1 м мощности. Уровень рапы в сентябре был на 0,5—0,6 м ниже поверхности солевой залежи.

На озере 2 и 31 под корочкой галита мощностью от 2 до 5 см (озера топкие) залегает слой глауберита с илом от 5 до 20 см мощности. Под глауберитом в ячейках, имеющих от 2 до 6 м в поперечнике, залегает тенардит. На озере 2 мощность его 5—10 см. В одном из пяти шурфов под тенардитом была обнаружена линза астраханита 35 см мощности. На озере 31 тенардит в таких ячейках встречен только в центральных частях озера. Здесь мощность его достигает 28 см. Между этими ячейками под глауберитом тенардита нет. Пласта мирабилита на этих озерах обнаружено не было; тенардит в них подстилался непосредственно илом. Уровень рапы на этих озерах в сентябре устанавливался в пласте глауберита.

На озере 5 после снятия пласта тенардита в 1945 г. образовался новый пласт тенардита который был также выработан. В 1955 г. на озере под слоем нагара в 10—12 см залегает слой мирабилита 10—15 см мощности. В августе рапы внутри солевой залежи не было.

На озере 3 в его центральной части пласт мирабилита отсутствовал, и тенардит подстилался непосредственно полужидким илом. В прибрежных частях озера и в его глубоких заливах залегает пласт мирабилита, поверхность которого по высоте соответствует поверхности пласта тенардита в центре озера до его удаления. Тенардит здесь был покрыт гипсово-мирабилитовой бугристой коркой, еще сохранившейся по границам выработанного участка тенардита, Уровень рапы летом был ниже гипсово-мирабилитовой корки в центре озера, где она залегала на полужидком иле.

\*\*\*

Ознакомившись с тенардитовыми озерами Джаксы-Клыцкого месторождения и в первую очередь с озерами 11г, 24г, 130, 125, 129, 108, 8т и 8б, можно отметить общие черты строения их. Прежде всего это наличие обособленного пласта тенардита и — за редким исключением — пласта мирабилита. На всех этих озерах присутствует глауберит или продукты его разложения. На них имеется астраханит, но главным образом в виде линз и кристаллов в пограничных, слоях пластов мирабилита и тенардита. Строение котловин озер с сорами, окружающими солевую залежь, также очень сходно. Близки соотношения загрязняющих пласты тенарди-

та и мирабилита примесей, состав и режим рапы, характер питания грунтовыми водами. Остальные тенардитовые озера месторождения также очень похожи на то или иное из перечисленных выше озер.

В то же время в обширной по числу разновидностей группе тенардитовых озер нельзя не заметить признаков, характерных для одних и отсутствующих на других озерах. Все более подробно описанные озера при последовательном рассмотрении их как бы характеризуют последовательное нарастание одних признаков и постепенное исчезновение других так, что первый представитель ряда — озеро 11г, особенно в том виде, в котором мы застали его в 1947 г., совсем не похож на последних представителей ряда — озера 8т и 8б.

Для озера 11г в 1947 г. было характерно наличие обособленного плотного пласта галита и — в сравнительно небольших количествах — кашеобразного глауберита, встречавшегося в виде линз не по всему озеру.

На озере 24г прослой глауберита был более отчетливо выражен и присутствовал по всему озеру, а слой галита имел меньшую мощность, был значительно более рыхлым и был загрязнен зернами глауберита и ила.

На озере 130 под пластом галита, еще более рыхлым и меньшей мощности, по всему озеру залегал более выдержанный прослой глауберита, а в южной части озера галит был очень сильно загрязнен и сверху прикрыт слоем черного ила.

Уровень рапы на этих озерах в летнее время почти не опускался ниже поверхности пласта галита, а зимой поднимался значительно выше ее.

Озеро 125, самое большое тенардитовое озеро месторождения, является и наиболее сложным по строению солевой залежи. В его западной части в 1948 г. на большой площади сверху залегал пласт галита до 30 см мощности и под ним сравнительно небольшой прослой глауберита и ила. В северной части озера галит присутствовал только в виде корочки толщиной от 1 до 4 см, лежавшей на слое ила и глауберита мощностью до 20—40 см. В восточной части озера отсутствовала и эта корочка галита; глауберит и ил летом сильно уплотнялись, местами глауберит уже разложился, и они образовали своеобразные «нашлепки», представленные гипсово-мирабилитовой коркой, возвышавшиеся над остальными более низкими участками солевой залежи и покрывавшиеся рапой не каждый год, а только при очень высоком ее уровне зимой. Летом в этой части залежи уровень рапы опускался ниже поверхности пласта тенардита.

В западной части озера он не опускался ниже, поверхности пласта галита.

На *озере 129* прослой галита между илом и тенардитом и тонкая корочка галита на слое ила в 1950 г. сохранилась только в южной части озера. На остальной площади на тенардите залежали только ил и глауберит. Рапа летом стояла на уровне поверхности тенардита.

На *озере 108* слой галита отсутствовал; среди пониженных участков, на которых тенардит покрыт слоем полужидкого ила и глауберита, по всему озеру возвышаются участки («нашлепки»), сложенные продуктами разложения глауберита и покрытые гипсовой коркой или слоем пухлого нагара. Они не затопляются рапой даже зимой. На пониженных участках рапа зимой поднимается до поверхности ила и местами покрывает его.

На *озере 8т* глауберит почти не встречался, и пласт тенардита был прикрыт мощной бугристой гипсово-мирабилитовой коркой и местами слоем пухлого нагара.

На *озере 86* местами отсутствовали и корка и нагар, и пласт тенардита обнажался на части поверхности озера.

Уровень рапы на *8т* и *86* озерах летом опускался на 0,3—0,4 м ниже поверхности пласта тенардита, а зимой не поднимался выше ее.

Не остается одинаковым для этих озер и строение самого пласта тенардита. На *озере 11г* он сравнительно рыхлый, с большим количеством кристаллов мирабилита, с пустотами, заполненными рапой или глауберитом. Сrostки кристаллов тенардита легко разламываются на отдельные кристаллы. На *озере 24г* пласт тенардита почти такой же, как и на *озере 11г*. На *озере 130* он более чистый, со значительно меньшим количеством глауберита внутри него, с более прочной связью между кристаллами, с малым количеством мирабилита.

На *озере 8т* пласт тенардита был более монолитный, с малым количеством пустот; кристаллы в нем находились в значительно более прочном срастании, нередко прорастая друг друга. На *озере 86* он был представлен монолитной плитой с ровной горизонтальной верхней поверхностью; пустоты отсутствовали; пласт с большим трудом разрушался клином; большая часть кристаллов находилась в срастании и прорастании друг с другом. Более рыхлой и пористой оставалась только нижняя часть пласта.

Пласты тенардита на *озерах 108* и *129* отличаются от приведенных выше явными следами растворения тенардита, причем воды, растворявшие его, на *озере 129* двигались в вертикальном направлении, а на *озере 108* главным об-

разом — в горизонтальном. В то же время тенардит на них представлен плотными разностями, на *озере 129* похожими на тенардит *озера 8т*, а на *озере 108*, в его пониженных частях — на пласт тенардита *озера 130*, а в повышенных частях — на пласт тенардита *озера 8т* и местами — *озера 86*.

На *озере 125* в различных его частях встречаются почти все разновидности пласта тенардита, приведенные выше. Кстати, в восточной части озера, где слой галита отсутствует, содержание в пласте тенардита NaCl и MgSO<sub>4</sub> значительно ниже, чем в *озере 8т* в западной, где сверху залегал слой галита толщиной до 300 см.

Последовательное рассмотрение характерных черт тенардитовых озер показывает, что при переходе от озера к озеру в том порядке, как они приведены выше, наблюдается уменьшение в мощности, разрушение и, наконец, исчезновение пласта, галита; сначала количественное увеличение в мощности и по площади слоя глауберита, а затем разложение его; понижение среднего летнего и зимнего уровня рапы относительно поверхности солевой залежи и обенно пласта тенардита; изменение строения пласта тенардита с переходом от рыхлых разностей к более плотным и к монолитной плите. К явлениям того же порядка относится и уменьшение в пласте тенардита содержания NaCl, а в некоторых озерах и MgSO<sub>4</sub>.

Столь же интересны и изменения солевых залежей этих озер во времени. К сожалению, проведение длительных наблюдений за большинством тенардитовых озер оказалось невозможным, так как из-за дефицитности тенардита пласт его на этих озёрах обычно вырабатывается вскоре после открытия озера. Но и в этих условиях удалось на некоторых озерах подметить следующие изменения.

На *озере 11г* с 1947 г. по 1950 г. мощность пласта галита значительно уменьшилась, пласт его из плотного стал очень рыхлым, топким. На *озере* увеличилось количество глауберита.

На *озере 125* в восточной ветви с 1948 по 1950 г. слой глауберита и ила уплотнился; на значительной части площади исчезла корочка галита, увеличилось количество повышенных участков, покрытых гипсово-мирабилитовой коркой. В западной ветви озера с 1948 по 1955 г. имевшийся на большей части площади слой галита мощностью до 30 см почти полностью исчез, даже корочка галита толщиной до 3 см сохранилась только на отдельных участках; слой глауберита и ила увеличился в мощности и уплотнился. В восточной и особенно в западной ветви озера на участках, где пласт тенардита отсутствовал и под илом

залегал мирабилит, за эти годы образовался пласт тенардита мощностью от 15 до 30 см. Граница между пластами тенардита и мирабилита или астраханита стала значительно отчетливее. Изменилось и соотношение примесей к тенардиту. Значительно уменьшилось в нем содержание  $\text{NaCl}$  и  $\text{MgSO}_4$ . На участках, где за эти годы исчезла корка или слой галита, содержание  $\text{CaSO}_4$  несколько увеличилось, а там, где слой или корка галита отсутствовали и происходило уплотнение как глауберита и ила, так и тенардита, содержание в последнем  $\text{CaSO}_4$  уменьшилось.

В 1948-1949 г. рапа на озере зимой покрывала всю солевую залежь, кроме ее восточной, более приподнятой части; в западной части слой рапы на поверхности достигал 20—25 см. Зимой 1955-1956 г. уровень рапы даже на самых, пониженных участках достигал только до поверхности ила. В феврале месяце поверхностной рапы на озере не было.

На озере 129 с 1950 по 1955 г. в летнее время уровень рапы стал понижаться значительно ниже поверхности пласта тенардита.

Можно отметить, что повторное обследование некоторых тенардитовых озер, обнаружило, что они за сравнительно короткий промежуток времени приобрели признаку сближающие их с последующими членами ряда перечисленных выше озер.

#### IV. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ДЖАКСЫ-КЛЫЧСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Геологическое строение района Джаксы-Клычского месторождения и особенно отдельных его участков, при их детальном рассмотрении оказывается довольно сложным вследствие участия в процессе образования неогеновых и особенно четвертичных отложений нескольких факторов и, в первую очередь, речной системы, ингрессий Аральского моря и деятельности ветра. Деятельность реки, наряду с большим количеством песчано-глинистых отложений, оставила здесь весьма большое количество протоковидных понижений и котловин, большей частью являющихся реликтами многочисленных стариц, расположенных на различных гипсометрических уровнях, причудливо связанных друг с другом не только руслообразными понижениями поверхности земли, но и столь же сложными в своем расположении водопроницаемыми отложениями, главным образом песками, связывающими озерные котловины с грун-

товыми водами в сложную систему (рис. 5). В этой системе изменение, происшедшее в том или ином соляном озере или группе озер, неизбежно вызывает изменения того же или обратного направления и в других озерах. При этом из-за условий залегания аллювиальных отложений нередко озера более удаленные испытывают большие изменения, чем близлежащие озера, при-



Рис. 5. Схематический план Джаксы-Клычского месторождения. Котловину окружают массивы полузакрепленных песков. Расположение соляных озер и соров подчеркивает наличие древних проток.

Условные обозначения:

1 — соляные озера; 2— соры; 3— массивы песков; 4 — овраги.

уроченные к другому древнему руслу, которое может быть и незаметно на поверхности.

Еще больше усложнили эту картину ингрессии моря, оставившие после себя плащеобразно залегавшие засоленные отложения, частично перекрывшие аллювиальные отложения и неравномерно по мощности распределившиеся на различных участках района. Эоловые отложения распределены в пределах района также очень неравномерно. Эта неравномерность в распределении морских и эоловых отложений, вместе с большой сложностью расположения аллювиальных отложений, вызывает большое разнообразие в условиях питания как поверхностными и грунтовыми водами, так и солями солевых залежей озер.

Учитывая это, а также большое разнообразие в соотношении других факторов, также воздействующих на солевые залежи тенардитовых озер, и сопоставив их с замеченными изменениями этих озер во времени, можно прийти к выводу, что тот порядок, который мы избрали для последовательного описания тенардитовых озер, характеризует последовательные стадии изменения солевой залежи тенардитового озера в существующих условиях района Джаксыклычского месторождения. Это не исключает возможности изменения тех или иных озер в противоположном направлении, если не по всему ряду, то по части его при изменении существующих условий.

#### **V. ТЕСНАЯ СВЯЗЬ ТЕНАРДИТОВЫХ ОЗЕР С ГАЛИТОВЫМИ И МИРАБИЛИТОВЫМИ ОЗЕРАМИ**

В статье о галитовых озерах Приаралья [7] была приведена характеристика основных галитовых озер Джаксыклычского месторождения, выделены основные разновидности их, определяющиеся, в первую очередь, различиями в минеральном составе их солевых залежей, а также условиями питания их солевых залежей солями и водами, от которых в значительной мере зависит и их минеральный состав. Здесь же приводилось и наше мнение о том, что большая часть этих разновидностей образовалась не только в результате различных условий прямого осаждения солей из свободных постепенно концентрирующихся рассолов, но, главным образом, в результате преобразования первично отложившихся солевых залежей при различных условиях воздействия на них грунтовых и поверхностных вод, различном количественном и качественном привносе в них и выносе из них солей, а также различного воздействия на них других факторов.

К первичноосажденным минералам, т. е. минералам, осаждавшимся из растворов при образовании солевой залежи, в галитовых озерах Приаралья относятся мирабилит, эпсомит и галит. При этом из растворов сначала осаждались мирабилит или эпсомит. На более поздней стадии с ними вместе осаждался галит, садка которого продолжалась и после окончания садки мирабилита и эпсомита. Поэтому первоначально галитовые озера Приаралья заключали, очевидно, пласт мирабилита или эпсомита и покрывающий их пласт галита. Между ними залегал прослой, состоящий из смеси мирабилита и галита или эпсомита и галита. В других озерах пласт соли изменялся снизу вверх постепенно: внизу залегал почти чистый эпсомит или мирабилит; вверх по пласту количество их постепенно уменьшалось, а количество галита постепенно увеличивалось, и верхняя часть пласта слагалась уже чистым галитом. Примеры таких солевых залежей можно встретить и сейчас как в озерах Приаралья, так и в других районах.

Несмотря на то, что осаждение астраханита в виде новообразования прямо из свободного раствора в настоящее время твердо установлено [14], в галитовых озерах Приаралья астраханит, как правило, является вторичным минералом, образовавшимся в уже отложившейся солевой залежи за счет перекристаллизации эпсомита или мирабилита и галита. При этом астраханит образовывался в нижних слоях пласта галита и в верхних слоях пласта эпсомита или мирабилита, постепенно замещая их вниз по пласту. В результате в Приаралье можно встретить галитовые озера, заключающие между галитом и эпсомитом или мирабилитом разной мощности пласт астраханита. На некоторых озерах мирабилит или эпсомит полностью замещены астраханитом.

Вторичными минералами для галитовых озер являются также глауберит и тенардит. Появление их в солевых залежах галитовых озер обычно связано с изменением режима этих озер и произошло, очевидно, значительно позже образования пласта астраханита. При этом и глауберит и тенардит образовывались за счет разложения астраханита, а там, где его не было,—за счет перекристаллизации мирабилита.

Внутри группы галитовых озер были выделены подгруппы [7], заключавшие озера со слабой дифференциацией сульфатного пласта и астраханито-эпсомитовым составом сульфатного пласта, озера с астраханито-мирабилитовым составом сульфатного пласта и озера со значительным количеством кристаллов и линзами тенардита в сульфатном

пласте, приуроченными к верхним слоям сульфатного пласта, соприкасающимся с галитом.

Таким образом, галитовые озера на Джаксы-Клычком месторождении, при рассмотрении их в определенной последовательности, представляют ряд, в котором первые представители под галитом имеют пласт астраханита, в последующих появляется между галитом и астраханитом прослой глауберита, затем, кроме кашеобразного глауберита, здесь появляются кристаллы и линзы тенардита, и последние представители ряда имеют отчетливые прослой тенардита. Вместе с этим на них наблюдалось уменьшение мощности пласта галита. На озере 18г под галитом в 1950 г. залегал пласт астраханита без следов глауберита между ними. Средняя мощность галита здесь 1,55 м. Мощность пласта галита за три года, с 1947 по 1950 г., на нем увеличилась на 8 см.

На озере 19г астраханит присутствует на большей части озера, местами же галит подстилается прямо пластом мирабилита. Между ними были отмечены, причем главным образом на астраханите, линзы кашеобразного глауберита до 10 см мощности. С 1947 по 1950 г. мощность пласта галита на этом озере уменьшилась на 4 см. Тенардит здесь не был встречен. В 1955 г. почти во всех скважинах в верхнем слое астраханита был отмечен тенардит.

На озере «Восточное» за эти три года мощность пласта галита уменьшилась на 9 см. С 1950 по 1955 г. мощность галита снова уменьшилась. На этом озере, кроме невыдержанных линз глауберита, в его южной части, где мощность галита меньше, чем в других частях озера, в 1950 г. был встречен вместе с более выдержанным прослоем глауберита и линзовидный прослой тенардита, в одной скважине 20 см, в другой 10 см толщины и в нескольких скважинах кристаллы тенардита. В 1955 г. в верхнем слое астраханита была обнаружена значительная примесь тенардита по всему озеру.

На озере 27г в 1950 г. в разных частях его было встречено два линзовидных прослоя тенардита до 20 см мощности и в нескольких скважинах—кристаллы тенардита. Повторное обследование озера в 1955 г. установило, что за пять лет площадь распространения тенардита и его мощность увеличились не очень значительно, хотя поверхность солевой залежи и претерпела заметные изменения. На озере появилось большое количество бугров ила, выжатого по трещинам, образующим многоугольники, поверхность пла-

ста галита стала менее плотной. Мощность пласта галита в 1950 г. уменьшилась на 12 см.

На озере 12г под пластом галита залегает пласт мирабилита с линзами астраханита в его верхней части. На астраханите в 1950 г. были обнаружены прослой тенардита мощностью 15—20 см, залегающие на значительной площади. Нижние части этих прослоев представляют тесно сросшиеся и проросшие друг друга кристаллы тенардита и астраханита. Во всех случаях между тенардитом и залегающим ниже пластом мирабилита оказался прослой астраханита. На тех участках озера, где слой астраханита отсутствовал, в верхних слоях мирабилита были встречены кристаллы тенардита, не образывавшие самостоятельного прослоя. С 1947 по 1950 г. слой галита по озеру уменьшился в мощности на 10—20 см.

Озеро 25г очень похоже на озеро 12г. В нем также под слоем галита залегает мирабилит с прослоем астраханита между ними. Местами мощность астраханита достигала 70 см. Здесь, между астраханитом и галитом в 1950 г. в трех скважинах были встречены линзы тенардита 20—30 см мощности. В остальных скважинах были встречены кристаллы тенардита. На части озера и астраханит и тенардит отсутствовали. Повторное обследование этого озера в 1955 г. показало наличие на нем по всему озеру пласта тенардита мощностью до 45 см, средней мощностью 33 см. Кристаллы тенардита очень крупные, чистые, напоминают тенардит озера 130. По всему озеру имеется прослой глауберита. Мощность галита с 1949 по 1955 г. уменьшилась на 17 см. Необходимо добавить, что озеро 25г расположено на перемычке между Северным и Южным бассейнами озера Джаксы-Клыч.

Максимальная мощность пласта галита из вышеперечисленных озер отмечена в озере 18г, где в 1950 г. средняя мощность его была равна 1,55, а максимальная—2,2 м. В это же время на озере 19г средняя мощность галита была 1,12 м, на озере «Восточное»—1,11 м, на озере 27г—0,92 м и на озере 25г—0,67 м. Очевидно, появление тенардита на галитовых озерах связано с уменьшением на них мощности пласта галита. В то же время сама по себе небольшая мощность пласта галита не служит признаком, указывающим, что в озере образуется тенардит. На галитовых озерах 13г, 14г, 21г, 22г и некоторых других средняя мощность пласта галита значительно меньше метра—0,70—0,80 м—однако даже кристаллов тенардита на них не было обнаружено. Можно считать установленным, что тенардит образуется на озерах с небольшой мощностью пласта гали-

та при условии постепенного уменьшения ее с одновременным изменением режима озера в сторону потери солевой залежи и других растворимых солей.

Кроме перечисленных галитовых озер, тенардит на месторождении был встречен в Южном бассейне галитового озера Джаксы-Клыч в нескольких заливах. В двух скважинах в 1950 г. обнаружен прослой сросшихся кристаллов тенардита и астраханита между галитом и астраханитом мощностью 0,2 м. Мощность пласта галита здесь была равна 1,15—1,25 м. Тенардит обнаружен и в маленьких галитовых озерах 51г, 52г, 53г, причем на озере 53г были встречены только кристаллы, а на озерах 51г и 52г — прослой тенардита мощностью до 25 см. В них много глауберита и ила. Тенардит книзу переходит в астраханит. Мощность галита на этих озерах не превышала в 1950 г. 0,6—0,5 м. В 1955 г. она уменьшилась до 0,40 м.

Перечисленный выше ряд озер показывает, что и в группе галитовых озер отдельные представители их имеют много общего с тенардитовыми озерами, а последние в этом ряду озера 12г и 25г почти не отличаются от представителей тенардитовых озер, имеющих слой галита, причем озеро 25г за 6 лет, с 1949 по 1955 г., по существу превратилось в тенардитовое озеро. Изменения в этих озерах за последние 5—6 лет указывают, что эти озера изменяются в сторону постепенной потери их соевыми залежами галита, образования в них глауберита и тенардита, постепенного замещения астраханита, и в меньшей степени мирабилита, тенардитом, сопровождающегося потерей солевой залежи магнезиальных солей как за счет выноса их грунтовыми водами за пределы озера, так и за счет образования нерастворимого карбоната магния. Химические анализы прослоя глауберита и ила между галитом и тенардитом показали наличие в нем нерастворимых карбонатов кальция и магния, составляющих от 10—12% до 20—30% от всей массы слоя.

Можно считать доказанным, что галитовые озера тесно связаны с тенардитовыми озерами рядом переходов, что галитовые озера при соответствующем воздействии внешних условий могут постепенно превращаться в тенардитовые озера, что процессы, происходящие при этом в солевых залежах галитовых озер, однозначны с процессами изменения солевой залежи тенардитовых озер. Нужно отметить при этом, что пласт тенардита в галитовых озерах, очевидно, более интенсивно образуется на участках, где под галитом, залегает пласт астраханита, чем на участках, где под галитом залегает пласт мирабилита.

Что же можно сказать о связи между тенардитовыми и мирабилитовыми озерами? В условиях Джаксы-Клычского месторождения, где мирабилитовые озера расположены на водоразделах или достаточно высоких участках по склону водоразделов грунтовых вод, рапа круглый год стоит ниже поверхности пласта мирабилита, т. е. верхние слои пласта мирабилита, в которых могло бы при соответствующих условиях происходить образование тенардита, почти лишены воздействия основного преобразующего солевые залежи фактора—перекристаллизации их рапой с привносом одних солей, изменением и выносом из них других солей. Перекристаллизация же рапой нижележащих слоев и вынос из них солей не сопровождаются повышением температуры их, необходимым для образования тенардита, которое могло бы иметь место при пропитывании рапой и смачивании ею самых верхних слоев солевой залежи. Здесь, напротив, из-за отсутствия в них рапы происходит обезвоживание мирабилита на поверхности солевой залежи и образование слоя порошкообразного воздушнопористого «нагара», препятствующего прогреву поверхности пласта мирабилита и обмену насыщенного влагой воздуха. Температура в пласте мирабилита в мирабилитовых озерах не поднимается выше 13—14°, что недостаточно для образования тенардита даже в условиях насыщения внутрислоевой рапы хлористым натрием.

Такой режим мирабилитовых озер не создает условий для образования в них тенардита, а следовательно, и не дает возможности выяснить, как мирабилитовые озера превращаются в тенардитовые. Этому могло бы способствовать изменение условий питания этих озер грунтовыми водами, повышение уровня грунтовых вод в районах мирабилитовых озер, т. е. процесс, обратный протекающему сейчас на месторождении процессу некоторого понижения уровня грунтовых вод, чего в настоящих климатических условиях Приаралья ожидать не приходится.

Некоторые мирабилитовые озера месторождения дают возможность предполагать, что прежде они были тенардитовыми озерами, но с понижением, уровня грунтовых вод постепенно потеряли пласт тенардита и превратились в мирабилитовые озера. Внешний вид солевой залежи этих озер и некоторые черты ее строения очень близки к тенардитовым озерам с мощной гипсово-мирабилитовой коркой.

Так, на мирабилитовых озерах 121 и 122 на поверхности залегает мощная, до 40 см толщины, гипсово-мирабилитовая корка с глубокими промоинами и рытвинами, указывающими на разрушение ее поверхностными водами. В ее нижних

частях нередко встречается кашеобразный глауберит. В северных частях этих озер, поверхность которых несколько ниже, чем в их остальных частях, слой сохранившегося здесь глауберита и полужидкого ила залегает под неровной, но тонкой гипсово-мирабилитовой коркой. Ниже на этих озерах залегает пласт загрязненного гипсом и нерастворимыми примесями мирабилита мощностью до одного метра. При этом мирабилит более сильно загрязнен в своей верхней части, где, кроме глауберита, много и черного тонкого ила. Особенно много примесей в северных частях солевых залежей. В пласте мирабилита на большей части озера был встречен прослой астраханита, местами с большим количеством кристаллов тенардита. Кристаллы тенардита рассеяны в верхних слоях пласта мирабилита по всему озеру, но особенно много их в северных частях озера, где больше и мощность прослоя астраханита.

Почти такая же картина наблюдается на озере 117, однако астраханита здесь значительно меньше, прослой его отсутствует, имеется только несколько небольших линз и отдельные кристаллы по всему озеру. Почти не осталось здесь и неразложившегося глауберита. Очевидно, это озеро в своем развитии отошло от тенардитовых озер дальше, чем озера 121 и 122. Обширная соровая полоса, окружающая озеро, указывает, однако, и на еще одно проявление сходства с тенардитовыми озерами, свидетельствуя, очевидно, о прежнем распространении на озере пласта галита. Кстати, отсутствие соровой полосы на большинстве мирабилитовых озер, вероятно, говорит о том, что после понижения уровня грунтовых вод и прекращения поступления сильно минерализованных вод на поверхность сора, как это имеет место на галитовых и тенардитовых озерах, соровая полоса постепенно заселяется растительностью, чему способствует промывание ее как атмосферными, так и почвенными водами. На озере 117 значительно больше, чем на озерах 121 и 122, участков, на которых вместо гипсово-мирабилитовой корки залегает слой сильно загрязненного «нагара».

Несколько иное строение солевой залежи можно наблюдать на мирабилитовых озерах 37 и 107. На озере 107 солевую залежь еще окружает постепенно зарастающая соровая полоса, но поверхность солевой залежи здесь покрыта слоем нагара, и только местами встречается гипсово-мирабилитовая корка, меньшей мощности и менее бургистая, чем на озерах, описанных выше. Пласт мирабилита на нем значительно более чистый, мощность его превышает один метр; глауберит в нем не встречается, сравнительно мало в нем и гипса. В пласте мирабилита залегает прослой тенардита в

виде сростков, пространство между которыми заполнено мирабилитом. В этом прослое встречены и кристаллы астраханита. Сверху на нем залегает слой мирабилита, возможно, образовавшийся в процессе или после разрушения пласта тенардита.

На озере 37 соры вокруг озера отсутствуют; сверху солевая залежь покрыта слоем нагара. В мирабилите, мощность которого здесь местами превышает 1,5 м, был встречен прослой астраханита с тенардитом, сильно загрязненный черным тонким илом. Между этим прослоем и слоем нагара залегает слой мирабилита, как и на 107 озере, очевидно вторичного происхождения. Все пять перечисленных мирабилитовых озер никогда не эксплуатировались человеком. Они, вероятно, являются связующим звеном между тенардитовыми и мирабилитовыми озерами, показывающим, в каком направлении могли бы изменяться дальше тенардитовые озера 87 и 86, как крайние члены ряда тенардитовых озер, если бы пласт тенардита на них не был выработан.

Что касается перехода мирабилитовых озер в тенардитовые, то, несмотря на то, что этот процесс на месторождении в настоящее время не имеет места, вмешательство человека на отдельных эксплуатируемых мирабилитовых озерах создает искусственно условия, благоприятные для его протекания, что позволяет наблюдать на них явления, которые могли происходить при изменении режима грунтовых вод в направлении повышения их уровня в районах расположения мирабилитовых озер.

Так как эксплуатация мирабилитовых озер производится путем постепенного сгребания с поверхности пласта мирабилита образующегося на ней слоя нагара, возобновляющегося за счет следующих слоев мирабилита через несколько дней после удаления первого слоя, то поверхность пласта мирабилита на этих озерах постепенно понижается за счет уменьшения мощности пласта мирабилита. Разумеется, процесс обезвоживания происходит интенсивно только летом, и добыча нагара производится в летнее время, когда уровень рапы в солевой залежи стоит наиболее низко, а солнечная радиация наиболее высока. Прибрежные участки солевой залежи мирабилитовых озер обычно сильно загрязнены гипсом и нерастворимыми примесями и поэтому не эксплуатируются. После нескольких лет эксплуатации поверхность пласта мирабилита в центральных частях озера часто на 30—50 см ниже, чем в прибрежных. Рапа здесь значительно ближе к поверхности пласта. На сильно выработанных участках; озер 20, 21, 70, 8 и других уровень рапы летом был часто толь-

ко на 10—15 см ниже поверхности пласта мирабилита, а в прибрежных, неэксплуатируемых, — на 40—50 см.

Следствием эксплуатации является и уплотнение верхнего слоя пласта мирабилита. Очевидно, оно связано с сильным прогревом и с плавлением мирабилита на поверхности обнаженного пласта. Температура воздуха летом в Приарале нередко достигает 40—42°, а температура плавления мирабилита—32,38°. Благодаря близости рапы к поверхности пласта усиливается поступление к ней хлористого натрия, содержащегося в рапе в значительных количествах, нередко достигающих 10—15%, за счет капиллярного поднятия рапы и испарения ее у поверхности пласта. Повышение содержания галита в верхних слоях способствует образованию здесь тенардита при более низкой температуре, чем температура перехода мирабилита в тенардит в отсутствие насыщения раствора хлористым натрием (вместо 32, 38° температура перехода может понижаться даже до 17,9°). Вследствие этого при плавлении мирабилита на поверхности залежи его расплав насыщается хлористым натрием, что значительно интенсифицирует процесс образования здесь тенардита.

Понижение поверхности пласта в центральных частях озера и уплотнение его, вызывающее уменьшение количества и сечений капиллярных сосудов, способствуют появлению на поверхности озера, особенно в зимне-весеннее время и после ливневых дождей летом, слоя рапы, почти не смешивающегося с внутрислоевой рапой. Дождевые и снеговые воды, стекающие в пониженные части озера, очевидно, смешивались здесь с поднимавшимися до поверхности внутрислоевыми водами и образовывали слой воды, в холодное время года очень слабо минерализованной из-за плохой растворимости мирабилита при низких температурах. На поверхности ее зимой нередко образовывался даже слой льда толщиной до 10—30 см. Весной с повышением температуры лед исчезал; происходили постепенное прогревание и одновременное испарение слоя поверхностной рапы. Из-за наличия на этих озерах уплотненного слоя мирабилита проникновение этих вод в пласт было сильно затруднено, так что даже при понижении уровня внутрислоевой рапы на 0,1—0,2 м ниже поверхности пласта на ней оставался значительный слой поверхностной рапы. По мере испарения и прогревания концентрация этой рапы быстро увеличивалась не только за счет выпаривания ее, но и за счет растворения ею верхнего слоя мирабилита, растворимость которого при повышении температуры резко увеличивается. С мирабилитом поступал в рапу и хлористый натрий, содержание которого

в этом слое было повышенным. Таким образом, очевидно, создавались условия для образования корки или слоя тенардита на эксплуатируемых мирабилитовых озерах.

Линзы тенардита нередко встречались на мирабилитовом озере 8, где на некоторых участках поверхность его была сильно понижена эксплуатацией. По мере выработки пласта мирабилита тенардитовая корка мощностью до 5—6 см стала появляться на мирабилитовых озерах 21, 20, и 19. Этому способствовало увеличение количества осадков в 1947—1949 гг. увеличивавшее роль поверхностных вод. В последующие годы, несмотря на значительно меньшее количество осадков, из-за продолжающегося понижения поверхности солевых залежей мирабилитовых озер эксплуатацией тенардитовая корка как на перечисленных озерах, так и на тех, где она раньше не образовывалась, стала появляться каждый год. Предприятие, эксплуатирующее месторождение, ранее снимавшее, главным образом, нагар на поверхности пласта мирабилита, с каждым годом увеличивало съем этой тенардитовой корки, который стал значительно превышать съем нагара

На мирабилитовом озере 49 после нескольких лет эксплуатации на поверхности мирабилита образовались крупные хорошо ограненные кристаллы тенардита. На мирабилитовом озере 70 после снятия загрязненной гипсово-мирабилитовой корки и нагара и нескольких лет добычи нагара образовался слой тенардита мощностью от 10 до 20 см. После его удаления в 1946 г. на озере за несколько лет снова образовался слой тенардита до 0,1 м мощности. Возобновление его повторилось еще раз. В южной части озера, где поверхность мирабилита была выше, в эти годы регулярно снимался слой нагара; она не покрывалась поверхностной рапой, и уровень внутрислоевой рапы в ней был значительно ниже, чем в северной части, где происходило образование тенардита, и рапа на поверхности оставалась до июня. Поверхность пласта в северной части озера в 1948 г. была на 0,5 м ниже, чем в южной части.

На мирабилитовом озере 34 также происходило образование тенардита. Местами здесь образовался пласт тенардита мощностью до 0,2 м, а тенардитовая корка здесь образовывалась и снималась неоднократно. В некоторые годы здесь появлялась на поверхности солевой залежи и корка галита. Тенардитовая корка добывалась и на мирабилитовых озерах 33, 38, 40, поверхность которых тоже была понижена съемами нагара.

Образование корки и слоя тенардита на эксплуатируемых мирабилитовых озерах, очевидно, свидетельствует о

том, что и без вмешательства человека некоторое повышение уровня грунтовых вод в районах мирабилитовых озер, могло бы вызвать явления, аналогичные наблюдавшимся, т. е. превращение их в тенардитовые, а затем, при медленном течении процесса, может быть, и в галитовые озера. Значительное увеличение атмосферных осадков и связанное с этим быстрое повышение уровня грунтовых вод, очевидно, вызвали бы растворение пласта мирабилита или заиливание его с поверхности. Однако такое течение процесса, обратное происходящему сейчас постепенному, очень медленному понижению уровня грунтовых вод, в ближайшие годы маловероятно, хотя в некоторые, более увлажненные годы уровень грунтовых вод несколько повышается. В связи с этим более определенные выводы о связи мирабилитовых и тенардитовых озер можно сделать из наблюдений над такими мирабилитовыми озерами, как 121, 122, 117, 107. Эти наблюдения более определенно говорят, что тенардитовые озера с понижением уровня грунтовых вод и увеличением проточности их, т. е. потери сначала галита, а затем магnezияльных солей, постепенно теряют и пласт тенардита и пласт астраханита. С окончанием разложения глауберита на них постепенно разрушается и гипсово-мирабилитовая корка, превращаясь в слой нагара, очень сильно загрязненного гипсом; озеро становится мирабилитовым.

Таким образом, рассмотрение многочисленных представителей тенардитовых, галитовых и мирабилитовых озер показывает, что все эти группы тесно связаны между собой целым рядом представителей, занимающих промежуточное положение между этими группами. С другой стороны, и внутри групп представители озер большей частью располагаются в ряд, по своим признакам постепенно приближающийся к соседней группе соляных озер.

Наблюдения за озерами, за изменениями в их солевых залежах в течение нескольких лет, подтверждают вывод о том, что соляные озера Приаралья постепенно изменяются, проходя ряд последовательных стадий, постепенно переходя из группы галитовых озер в группу тенардитовых озер и из группы тенардитовых озер в группу мирабилитовых озер. Эти последовательные изменения солевых залежей, складывающиеся из отдельных этапов, которые удалось наблюдать за сравнительно короткий промежуток времени на озерах, находящихся в той или иной стадии своего развития, характерны для большей части озер Джаксы-Клычского месторождения. Однако здесь имеется несколько галитовых озер, развитие которых идет в противоположном направлении. К ним, прежде всего, относится озеро 182, поверх-

ность солевой залежи которого имеет наиболее низкие в районе абсолютные отметки, вследствие чего все соли, поступающие в озеро из грунтовых и поверхностных вод, остаются в нем. Мощность пласта галита в нем за последние годы увеличилась. Изменения же, происшедшие внутри его солевой залежи за этот период, к сожалению, проследить не удалось. Несомненно, что эти изменения в природе протекают с человеческой точки зрения очень медленно, во всяком случае в течение нескольких сотен лет, если не появляются какие-то факторы, резко изменяющие климат, режим грунтовых вод или уровень базиса эрозии. К таким факторам можно отнести понижение уровня Каспийского моря, Балхаша, резкие смены засушливых периодов увлажненными в более северных и северо-восточных районах. Немалое значение имеет и преобразующая природу деятельность человека, нередко катастрофически сказывающаяся на соляных озерах. Так, благодаря усилению орошения в долине Сыр-Дарьи, в Голодной степи, в Джамбульской области полностью растворено несколько месторождений солей; много и других примеров. С чем же связано изменение солевых залежей целого ряда озер Джаксы-Клычского месторождения, происшедшее за сравнительно короткий промежуток времени? Каковы перспективы дальнейшего изменения их? Многие факты говорят о том, что эти изменения в основном связаны с деятельностью человека.

Более 20 лет эксплуатирует промысел «Аралсоль» Южный бассейн озера Джаксы-Клыч, крупнейшее озеро Приаралья и Джаксы-Клычского месторождения, расположенное на наиболее низких в районе гипсометрических абсолютных отметках, добывая из него галит в качестве пищевой соли. За этот период из озера извлечено более 5 миллионов кубометров галита. Выемка из озера такого количества галита сама по себе не могла не сказаться как на уровне его поверхности, так и на режиме грунтовых вод, пополняющих запасы солей в озере. Однако еще более важным результатом эксплуатации озера, очевидно, было вскрытие при добыче галита на больших площадях внутрипластовой рапы так, что на озере образовались громадные полыньи с открытой рапой, площадью в несколько квадратных километров (рис. 6).

По экспериментальным данным, полученным Я. И. Тычино и М. Г. Валяшко на озере Индер [16] в 1940 г., испарение с поверхности новосадки галита за теплое время года (с мая по сентябрь) составило 5,3 мм, испарение же с открытой поверхности озерной рапы той же концентрации за этот период составило 896 мм, т. е. было больше в 169 раз. Если же учесть, что в районе озера Индер выпадает осадков



Рис. 6. Южный бассейн озера Джаксы-Клыч с участками, на которых был выработан пласт галита, и произошло испарение с открытой поверхности рапы. Полностью такие участки зарастают галитом только через 5—6 лет после его удаления.

Условные обозначения: 1 — острова; 2 — выработанные участки галита.

почти в два раза больше, чем в Приаралье, а величина испарения с открытой водной поверхности (для пресных вод) не превышает 1000 мм, то в районе Джаксы-Клычского месторождения, где испарение за теплый период года составляет более 1550 мм, испарение с поверхности открытой рапы, несомненно, должно превышать испарение с поверхности новосадки более чем в двести раз и составить больше 1000 мм. Такая громадная потеря озером воды, составляющая несколько миллионов кубических метров в год, не может не сказаться в сравнительно короткий срок как на водном режиме самого озера, так и на режиме водоносного горизонта, питающего его. Для всей площади озера это составит понижение уровня рапы за летний период на 4—5 см. Эта убыль воды, превышающая установившееся за много лет равновесие в несколько раз, разумеется, не может не сказаться и на других озерах месторождения (рис. 4).

Песчаные породы водоносного горизонта на Джаксы-Клычском месторождении очень тонкозернисты, часто глинисты, с очень маленькими коэффициентами фильтрации, составляющими всего несколько десятков сантиметров в сутки. Соляные озера месторождения, расположенные на сравнительно небольшом удалении от ЮЖНОГО бассейна озера Джаксы-Клыч, и особенно галитовые озера, имеют абсолютные отметки поверхности галита, превышающие таковые Южного бассейна всего на несколько десятков сантиметров. Поэтому изменения, происходящие на Южном бассейне, сказываются прежде всего и наиболее резко на соляных озерах, расположенных в непосредственной близости от него или связанных с ним другими озерами, разделенными сравнительно узкими перемычками, представляющими древние русла, выполненные песчаными отложениями.

Поэтому наиболее значительные изменения в солевых залежах за последние годы можно было наблюдать, главным образом, на галитовых озерах 25г, 12г и «Восточное» и тенардитовых озерах 24г, 11г, 125, 130, наиболее тесно связанных с озером Джаксы-Клыч. Действительно, озера 24г и 25г расположены на перемычке между Северным и Южным бассейнами и почти соединяются с последним системой соров. Озера 125, 130 и «Восточное» находятся в непосредственной близости от Северного бассейна, почти соединяющегося с Южным бассейном системой протоков и соров; поверхность его солевой залежи всего на 30—50 см выше поверхности Южного бассейна. Кстати, в его южной части верхний слой галита носит следы усиленного промывания его рапой, очень рыхлый; слой уплотненной новосадки отсутствует. Озеро 19г расположено на большем удалении от

озера Джаксы-Клыч, поэтому и изменения в его солевой залежи за последние годы произошли сравнительно небольшие. Озеро 11г, расположенное близ озера 19г, примерно на 2 м выше его, могло иметь сообщение с озером Джаксы-Клыч только через систему соров озера 114 и 125, но близость к нему озера 19г говорит о том, что его влияние здесь немногим меньше, чем озера Джаксы-Клыч. Озеро 12г соединяется с Южным бассейном системой соров.

На более удаленных галитовых озерах, поверхность галита которых незначительно выше перечисленных галитовых озерах, за последние годы существенных изменений не произошло.

Необходимо отметить, однако, что нарушение режима питания Южного бассейна не изменило направления, но лишь ускорило в прилегающих к нему участках происходящий процесс стягивания солей из периферических более высоко расположенных частей Джаксы-Клычской котловины в наиболее пониженные, центральные части и в конечном счете в озеро Джаксы-Клыч. Процесс этот, разумеется, протекает во много раз медленнее, чем происходящие сейчас изменения, вызванные вмешательством человека. Проявление его можно видеть на галитовом озере 27г, постепенно теряющем галит, на мирабилитовых озерах 121, 122, 117, абсолютные отметки поверхности солевых залежей которых на 5—7 метров выше отметок поверхности озера Джаксы-Клыч. В периферических частях котловины встречается много соров, которые, очевидно, в недалеком прошлом также были соляными озерами с пластами солей. Можно подчеркнуть здесь значительную роль в этом процессе инфильтрационно-конденсационных вод песчаных массивов, окружающих Джаксы-Клычскую котловину и пополняющих почти пресными и солоноватыми водами водоносный горизонт аллювиальных отложений котловины, за счет которого в основном происходит питание соляных озера водой и солями. Воды эти постепенно концентрируются как за счет испарения их с помощью капиллярного поднятия, так и за счет выщелачивания солей по пути своего движения от периферических частей к центру котловины. Немалую роль на этом пути играет и обмен солями с соляными озерами, проточными для грунтовых вод.

## VI. ТЕНАРДИТОВЫЕ ОЗЕРА ДРУГИХ РАЙОНОВ

Обследование соляных озера на значительной территории Прикаспия, Приаралья, низовьев р. Чу и других районов, проведенное трестом «Мосгеолнеруд» в 1954 и 1955 гг., позволяет сравнить тенардитовые озера Джаксы-Клычского месторождения с тенардитовыми озерами других районов.

В северном Приаралье близ Джаксы-Клычского месторождения расположена группа соляных озера у могилы Садыр-бай (рис. 7). В этой группе, состоящей из 8 озера, на

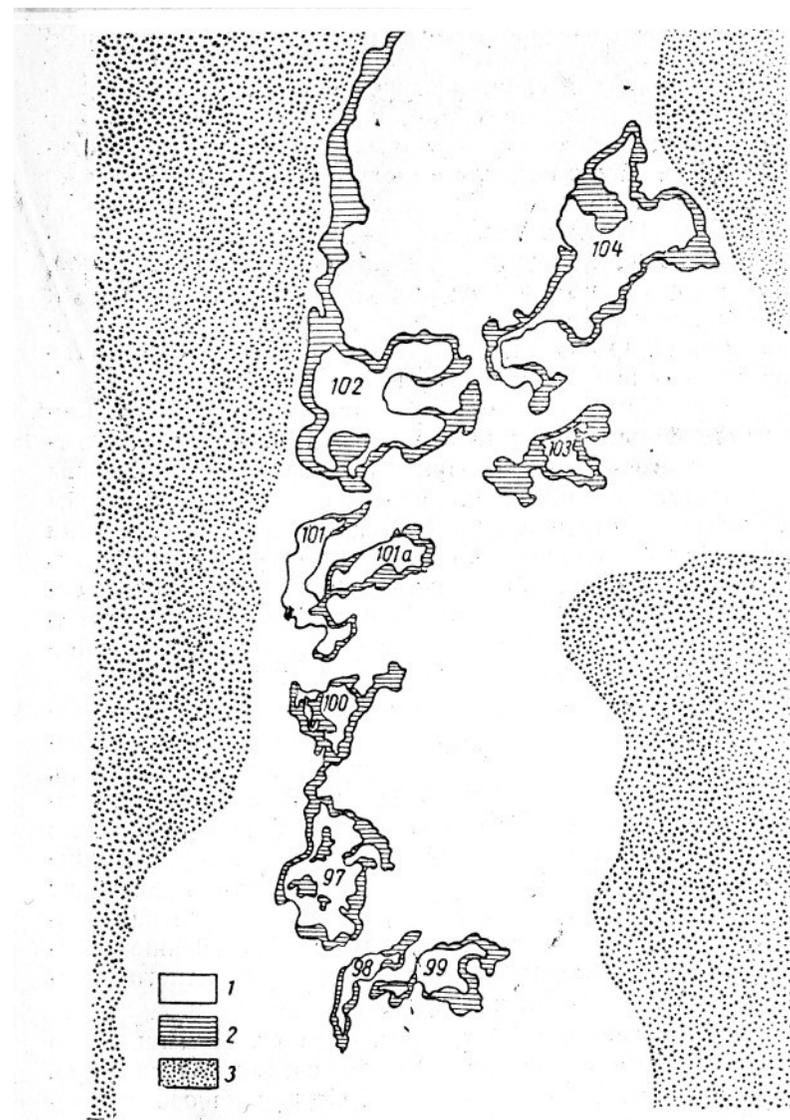


Рис. 7. Схема расположения соляных озера Садыр-бай, приуроченных к протоковидному понижению среди песчаных массивов. Хорошо заметна протоковидная форма озера и соров.

Условные обозначения:

1 — соляные озера; 2 — соровые участки; 3 — массивы полузакрепленных песков.

всех озерах сверху залегает пласт галита мощностью 0,30—1,2 м. На двух озерах под галитом залегает пласт астраханита, который подстилается мирабилитом. Между астраханитом и галитом были встречены кристаллы и линзы тенардита. В пяти озерах, имеющих меньшую мощность галита, под ним залегает пласт тенардита. Между пластом галита и тенардитом несколькими скважинами был встречен прослой кашеобразного глауберита и черного ила. Мощность этого прослоя незначительная, но на двух озерах она местами достигает 0,3—0,4 м. Мощность пласта тенардита большей частью равна 0,2—0,4 м, но в нескольких случаях она достигает 0,5 и даже 0,8 м. Почти на всех озерах тенардит очень рыхлый, с пустотами, заполненными глауберитом или рапой. Под ним залегает на трех озерах астраханит, а на двух озерах мирабилит. Под астраханитом местами также залегает мирабилит. Озера эти окружены широкими болотистыми сорами. По внешнему виду они напоминают галитовые озера Джаксы-Клычского месторождения. На озерах с тенардитом галит большей частью очень рыхлый, верхняя уплотненная корка его — тонкая. При рассмотрении всей группы озер создается впечатление, что из озер с большим количеством тенардита, где галит рыхлый, соли выносятся в котловины, которые кажутся расположенными на более низких абсолютных отметках, в которых основная часть сульфатного пласта представлена астраханитом, а галит в верхней части пласта очень твердый. Последние имеют более узкую сорную полосу, чем первые.

Ознакомление с этой группой озер показывает большое сходство ее с тенардитовыми и галитовыми озерами Джаксы-Клычского месторождения. В то же время можно заключить, что после значительной потери этой группой озер галита, вызвавшей образование тенардита на большинстве озер группы, в связи с изменением режима питания происходило увеличение мощности пласта галита. В последнее же время происходит потеря галита только на некоторых, очевидно выше расположенных озерах. Об этом свидетельствуют как строение пласта галита на этих озерах, так и строение сульфатного пласта, и прослой глауберита и ила.

Значительно южнее этой группы, близ ст. Чумыш, было обследовано протоковидное тенардитовое озеро с полосой сора, покрытой нагаром и гипсовой коркой. Сверху на озере залегает слой новосадки галита с полуобезвоженными пикообразными кристаллами мирабилита толщиной от 1 до 3 см. Под ней лежит слой кашеобразного глауберита с черным илом мощностью от 0,1—до 0,4 м. Под глауберитом в средней части озера залегает пласт тенардита, в южной части — пласт

мирабилита и в северной части — пласт астраханита. Тенардит подстилается мирабилитом и на части озера — астраханитом. Рапа, взятая из солевой залежи, уровень которой летом находился на 20 см ниже поверхности озера, имеет различный состав в центральной и южной частях озера. В центральной части озера в шурфе, где под тенардитом залегает мирабилит, рапа содержит 102,31 г/л  $MgSO_4$ , 34,37 г/л  $Na_2SO_4$  и 242,09 г/л  $NaCl$  и по своему составу попадает в поле кристаллизации астраханита (на изотерме 25°). В южной части озера, где имеется только пласт мирабилита, рапа содержит 49,93 г/л  $MgSO_4$ , 152,37 г/л  $Na_2SO_4$  и 168,40 г/л  $NaCl$  и по своему составу попадает в поле кристаллизации тенардита. Это озеро в отличие от озер группы Садыр-бай, похожих на тенардитовые озера 130, 25г; многим напоминает тенардитовое озеро 129 и некоторые части озера 125. Особенностью его является распределение в нем тенардита, мирабилита и астраханита, очевидно, связанное с условиями питания его различными частями грунтовыми водами. В 1955 г. группа озер с тенардитом была обследована в низовьях р. Чу, где воды ее теряются в лабиринте протоковидных озер, обычно высыхающих летом. Здесь, южнее этих озер, близ урочища Саумак-куль расположено большое количество озерных котловин, покрытых слоем галита с выступающими над его поверхностью буграми ила, разделяющими солевую залежь на многоугольники или округлые ячейки. Среди этих котловин было обнаружено несколько озер, заключающих пласты галита и сульфатных минералов значительной мощности. Очевидно, эти озера питаются за счет грунтовых вод, которые пополняются как водами р. Чу, так и водами, стекающими с хребта Кара-Тау. Котловины этих озер, вероятно, были выработаны еще в то время, когда р. Чу впадала в р. Сыр-Дарью (рис. 8).

В озере 105 под пластом галита залегает сульфатный пласт. Мощность галита от 1,0 до 2,0 м. Между галитом и сульфатным пластом на части озера залегает слой кашеобразного глауберита и ила 0,2—0,6 м мощности. Примерно на половине площади озера под этим прослоем залегает пласт астраханита около метра мощности, который подстилается пластом мирабилита. Одной скважиной обнаружена линза тенардита, залегающая на астраханите, мощность ее 0,6 м. В тенардите много кристаллического глауберита и астраханита.

В озере 107 мощность пласта галита колеблется от 1,75 до 2,5 м. На части озера под ним залегает линза ила с кашеобразным глауберитом мощностью 1,0 м. Сульфатный пласт представлен слоем тенардита до 1,0 м мощности и залегаю-

щим под ним слоем астраханита примерно такой же мощности.

На озере 108 имеется только корочка галита толщиной 3 см, под которой залегает слой черного вязкого ила и глауберита (кашеобразного) от 0,2 до 0,7 м мощности. Под илом лежит пласт астраханита мощностью более 1,0 м. На астраханите залегает слой тенардита до 20 см толщины.



Рис. 8. Схема расположения соляных озер близ урочища Саумак-коль в низовьях р. Чу. Сорами озера связываются в единую систему, представляющую древние протоки и старицы реки.  
Условные обозначения:  
1 — соляные озера; 2 — соры.

На озере 111, имеющем протоковидную форму, в южной части мощность галита и сульфатного пласта значительно меньшая, чем в северной части озера. Здесь под галитом встречен прослой ила, а в пласте астраханита — прослой галита 40 см мощности. В северной части мощность галита значительно большая, здесь она достигает 1,5 м. Прослой ила и второй слой галита отсутствуют, хотя нижние слои галита и очень сильно загрязнены илом. Под галитом залегает

пласт астраханита средней мощностью 0,6 м. На части озера на астраханите залегает пласт тенардита до 0,5 м, а под астраханитом — пласт мирабилита 0,4 м мощности.

На озере 112, также протоковидной формы, в северной части под слоем галита (0,45 м) лежит пласт ила мощностью 1,05 м, который подстилается пластом астраханита 0,45 м мощности. В южной части озера пласт галита имеет значительно большую мощность. Здесь она достигает 1,65 м. Прослой ила отсутствует, и под галитом залегает пласт местами загрязненного тенардита мощностью 0,3—0,6 м, под которым лежит пласт мирабилита до 1,0 м мощностью.

На озере 113 мощность пласта галита в северной части в два раза больше, чем в южной, и достигает 1,65 м. Сульфатный пласт имеется только в северной части озера. Здесь он представлен пластом тенардита 0,32 м мощности, пластом мирабилита 0,53 м мощности и пластом астраханита до 1,40 м мощности.

На всех озерах здесь был встречен кристаллический глауберит, присутствующий в виде примеси, главным образом, в пласте тенардита и реже в пласте астраханита. В одном случае значительное количество его было обнаружено в нижних слоях пласта галита.

Соляные озера низовьев р. Чу также имеют много общих черт с тенардитовыми и некоторыми галитовыми озерами Джаксы-Клычского месторождения. Основным отличием их является значительная мощность пласта галита и наличие часто мощного прослоя ила и глауберита между галитом и сульфатным пластом. При этом надо отметить, что здесь пласт галита значительно более плотный, и нередко в нижних своих частях, а не только в верхних, как это имеет место на галитовых озерах Приаралья. Прослой слабо связанных кристаллов гранатки занимают меньшее место. Большинство характерных черт этих озер вместе с признаками, указывающими на сходство их с соляными озерами Приаралья, говорит о том, что эти озера прошли сложный путь развития. Сначала здесь, как и в Приаралье, происходило отложение пластов мирабилита и эпсомита, в последующем — осаждение пласта галита, преобразование части сульфатного пласта и нижних слоев пласта галита в астраханит, постепенный вынос галита и магнезиальных солей или преобразование последних в нерастворимые карбонаты с уменьшением мощности пласта галита местами до полного его выноса, с образованием пласта тенардита и слоя глауберита и ила. После этого, в связи с изменением условий питания этих озер грунтовыми и поверхностными водами, на них происходило увеличение мощности пласта

галита, характеризовавшееся образованием плотного галита, часто со значительной примесью гипса, что указывает на невысокое содержание в водах, питающих в это время озера, сульфатов и магнезия или на осаждение их еще по пути к солевой залежи.

В 1954 г. была обследована крупная группа соляных озер в Северном Прикаспии, в районе ж. д. станций Карабатан—Искине—Доссор. Здесь с помощью ручного бурения и шурфов было проверено около ста озер, заключающих пласты солей. Близ ст. Карабатан расположена группа озер, заключающая только пласт глауберита и, в некоторых случаях, корочку галита. Восточнее, близ ст. Искине, было встречено большое количество озер, солевая залежь которых представлена слоем тенардита и подстилающими его слоями астраханита и мирабилита. Размеры этих озер незначительны. Пласт тенардита на них прикрыт слоем глауберита и ила до 0,4 м мощности, на котором в свою очередь иногда лежит незначительная корочка галита. Внутри пласта тенардита, астраханита и мирабилита нередко встречаются прослои черного ила. Мощность тенардита здесь редко превышает 0,2 м; книзу он большей частью постепенно переходит в астраханит и реже подстилается мирабилитом.

Основная группа наиболее крупных озер расположена в четырехугольнике между ст. Искине, ст. Доссор, промыслом Искинским и промыслом Байчунас. В этой группе почти все озера заключают пласт галита от 0,7 до 1,7 м мощности. Галит обычно сверху представлен прослоем плотной новосадки и старосадки, в которой часто встречаются тонкие прослойки ила и даже песка. Основная же часть пласта галита представлена гранаткой, в которой кристаллы и сростки галита почти не связаны между собой. Под пластом галита большей частью залегает сульфатный пласт, состоящий в основном из астраханита. В меньших количествах встречаются тенардит и мирабилит. Эпсомита здесь очень мало, и самостоятельных прослоев его встречено не было.

Пласт астраханита нередко достигает 1,0 м мощности; между ним и галитом на многих озерах залегает пласт тенардита мощностью 0,2—0,4 м или прослой, состоящий из сросшихся кристаллов тенардита и астраханита. Большей частью переход от тенардита к астраханиту книзу по пласту постепенный. В некоторых случаях между галитом и тенардитом был встречен невыдержанный прослой кашеобразного глауберита. Тенардит часто также загрязнен глауберитом и илом. Под астраханитом в некоторых случаях залегает слой мирабилита обычно небольшой мощности. В пла-

сте тенардита было обнаружено большое количество кристаллического глауберита, достигавшее нередко 4—6%. В астраханите кристаллический глауберит встречался значительно реже. В галите он не был установлен.

В нескольких озерах было обнаружено своеобразное строение солевой залежи. В пласте галита был встречен слой ила до 0,6 м мощности, разделяющий его на две части; в двух озерах этих слоев оказалось даже два. На одном озере под пластом галита мощностью 1,25 м залегает пласт астраханита 0,2 м мощности. Под ним лежит второй слой галита 0,35 м мощности, а под этим слоем галита второй пласт астраханита 0,35 м мощности. На Другом озере сверху вниз были пройдены: галит (1,10—1,20 м), тенардит (0,05—0,30 м), астраханит (0,0—0,40 м), ил (0,65—0,90 м) и второй пласт галита 0,50 м мощности. На третьем озере сверху залегал слой ила (22 см), под ним — слой галита 0,36 м, ниже—слой ила с кристаллами тенардита 0,12 м, затем второй слой галита 0,20 м, а под ним пласт тенардита 0,66 м и пласт мирабилита 0,20 м. Подобное чередование слоев, когда под солевой залежью и слоем ила залегает еще один слой галита, было встречено еще на двух озерах.

Представляют интерес результаты обследования Искинской и Карабатанской групп соляных озер, произведенного более 15—20 лет назад, главным образом экспедициями Академии наук СССР. В озерах Карабатанской группы указывалось на наличие, кроме пласта глауберита, слоев галита, астраханита и тенардита до 30 см мощности, а в озерах, расположенных восточнее линии ст. Искине—промысел Искинский, — на наличие, кроме пластов галита, главным образом астраханита и слоя смешанных солей, состоящего из галита и эпсомита. Отмечено было также наличие здесь значительных количеств эпсомита и помимо слоев смешанных солей, но не тенардита, который был известен лишь в озерах, расположенных западнее линии Искине-Искинский. Сопоставление этих сведений с материалами обследования 1954 года говорит о том, что солевые залежи этого района за последние десятилетия претерпели сильные изменения. Прежде всего это относится к значительному уменьшению в солевых залежах эпсомита и увеличению количества тенардита, очевидно, в значительной части за счет астраханита. Сюда же надо отнести исчезновение в солевых залежах озер Карабатанской группы тенардита, астраханита и галита. Эти изменения нельзя не связать с происходящим в настоящее время понижением уровня Каспийского моря, в связи с чем, очевидно, несколько понижается и уровень

грунтовых вод; это сделало большинство озер этого района проточными для грунтовых вод и способствовало выносу из них в первую очередь галита и магнезиальных солей, а для озер, расположенных на более высоких отметках,—и выносу сульфатов натрия или превращению их в глауберит. То же можно наблюдать и в других прибрежных районах Каспийского моря. Так, вместо пласта тенардита в 0,3 м и мирабилита мощностью до 1,0 м, отмеченных И. Н. Лепешковым [10] в озерах Кок-тюбе-сор, западнее п. Новобогатинское, в 1954 г. были обнаружены только сильно загрязненный илом и глауберитом слой мирабилита до 0,3 м и сростки кристаллов тенардита в глауберите. Остальная же часть солевой залежи представлена здесь мощным пластом кашеобразного глауберита и ила. Подобные изменения можно обнаружить и на полуострове Бузачи, где часть озер потеряла пласт солей, а в других озерах, образовавшихся на месте бывших заливов Мертвый Култук и Кайдак, и особенно озера Кара-Кичу, в наиболее пониженных участках этих озерных котловин в настоящее время залегают пласты солей, представленные галитом (до 1,0 м), эпсомитом, кристаллическим глауберитом и астраханитом. Потерю пласта галита рядом крупных озер можно наблюдать и в низовьях р. Эмбы. Можно предположить, что понижение уровня Каспийского моря (разумеется, за значительно более длительный период) оказывало на группу озер у ст. Искине—ст. Доссор примерно то же воздействие, что и эксплуатация озера Джаксы-Клыч на ближайшие к нему озера.

Необходимо отметить, что галитовые и тенардитовые озера района ст. Искине—ст. Доссор имеют много общего с озерами Северного Приаралья. Отличия же их связаны как с несколько иными условиями климата и питания этих озер, так и с более сложной историей развития их, вызванной периодическими изменениями уровня Каспийского моря, сопровождавшимися изменением режима грунтовых вод, режима поверхностных вод и климата. Об этом ярко свидетельствуют мощные слои ила, вторые пласты галита, астраханита и тенардита в солевых залежах некоторых озер.

Из знакомства с соляными озерами районов, значительно удаленных от соляных озер Джаксы-Клычского месторождения и во многих случаях прошедших более сложный путь развития солевых залежей, можно заключить, что строение их солевых залежей, пласта тенардита, взаимосвязь тенардита с другими минералами солевой залежи говорят о таком же направлении и примерно таких же условиях процесса образования тенардита в этих озерах, как и в соляных озерах Джаксы-Клычского месторождения.

В то же время наблюдения на этих озерах свидетельствуют о значительной роли грунтовых вод в процессах образования и изменения солевых залежей.

## VII. ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕНАРДИТА В СОЛЯНЫХ ОЗЕРАХ ПРИАРАЛЬЯ

В результате многолетних исследований рассолов соляных озер, начатых еще Н. С. Курнаковым и С. Ф. Жемчужным (опубликованы впервые в 1900 г.) [9] и продолжающихся до настоящего времени в институтах Академии наук СССР и во Всесоюзном институте галургии, экспериментально установлены температурные интервалы существования и образования из насыщенных растворов мирабилита, тенардита, эпсомита, астраханита, гидрогалита, галита и других минералов при кристаллизации их из рассолов, содержащих хлориды и сульфаты натрия и магния. Этими исследованиями установлено, что осаждение тенардита из рассолов подобного типа начинается при температуре 17,9° (из раствора, содержащего только  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , при его насыщении тенардит осаждается при температурах выше 32,38°—температуре плавления мирабилита) [1, 12, 13]. Образование из рассолов такого же типа астраханита начинается при температуре 5,85°, что экспериментально установлено А. Д. Пельш [11]. При этом отмечалось, что образование астраханита даже при 25° при изотермическом испарении рассола происходит крайне медленно. В. М. Букштейном экспериментально было установлено, что процесс образования астраханита многократно ускоряется в условиях резких колебаний температуры раствора. Из растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaCl}$ , гидрогалит образуется—как показали работы А. Д. Пельш [12]—при температурах ниже 0,1°.

Приведенные температуры образования тенардита и астраханита, полученные экспериментально, лабораторным путем, хорошо согласуются с наблюдающимися на соляных озерах процессами образования пластов этих минералов и помогают разобраться в условиях преобразования солевых залежей и путях развития соляных озер.

Схема образования и изменения солевых залежей основных соляных озер Приаралья, приведенная в нашей работе [7], также хорошо согласуется с данными по температурным интервалам существования и образования основных минералов солевых залежей. То же можно сказать и о растворимостях этих минералов для различных температурных интервалов в условиях рассолов, содержащих сульфаты и хлориды натрия и магния в раз-

личных соотношениях. Не меньшее значение для выяснения процессов преобразования солевых залежей имеют экспериментальные лабораторные работы по мета-модификации хлоридных, сульфатных и карбонатных растворов бикарбонатом кальция, проведенные в последние годы М. Г. Валяшко и другими исследователями [3, 4, 5, 15].

В результате нескольких лет наблюдений за соляными озерами Приаралья, изучения химического и минералогического состава солевых залежей и изменений его во времени, а также изучения рапы и режима соляных озер и грунтовых вод выяснилась самая тесная связь соляных озер (и в первую очередь их рапы) с грунтовыми водами, питающими соляные озера солями и водой, влияющими на изменение состава солевых залежей, выносящими из озер такие легко растворимые минералы, как галит и магнезиальные соли в виде хлоридов и сульфатов. Выясняется также и большая роль поверхностных и почвенных вод в преобразовании солевых залежей и в первую очередь — в образовании нерастворимых карбонатов магния и кальция и глауберита, уменьшающем на значительной стадии жизни озера содержание легко растворимых магнезиальных солей в рапе и в солевой залежи.

Путь образования и развития солевых залежей Приаралья представляется нам в следующем виде (для упрощения можно временно пренебречь объяснением некоторых аномальных случаев нахождения второго пласта астраханита или галита, которые указывают, что этот путь более сложен и длителен и может представлять не один, а несколько циклов соленакопления).

Первоначально соляные озера Приаралья — и в первую очередь современные галитовые озера — были рапными озерами, в питании которых водой и солями, кроме грунтовых вод, существенное участие принимали речные и поверхностные воды. Нельзя полностью исключать и пополнения их водами Аральского моря во время ингрессии его в Джаксы-Клычскую котловину, а возможно и в долину еще существовавшей в то время реки. Однако, не уменьшая роли Аральского моря в привносе значительного количества солей в район ингрессии, вряд ли можно согласиться с тем, что солевые залежи озер этого района образовались в значительной степени за счет испарения морской воды в котловинах современных соляных озер. А. Л. Яншин указывает [17], что не более 5000 лет назад климат этого района был значительно более влажным, с большим количеством осадков. Это, очевидно, является еще одним доказательством существования здесь реки, впадавшей в Аральское море.

Для последующего периода А. Л. Яншиным [17] подтверждается возможность существования здесь значительно более сухого климата, чем современный. В этой же работе он указывает на возможность образования соляных озер Джаксы-Клыча за счет отшнуровывания его от моря. С этим согласиться нельзя. Изучение строения солевой залежи только Южного бассейна озера Джаксы-Клыч показывает, что разные его части переживали различную историю, что отразилось в различии строения и состава солевой залежи на разных участках этого озера.

Смена сравнительно влажного климата засушливым, очевидно, вызвала постепенное отступление реки; в настоящее время это можно очень хорошо видеть на примере многих рек Прикаспия (Уил, Сагиз, Эмба и др.). В тот период речные воды поступали в котловины озер только периодически и, возможно, не каждый год. Постепенно роль их в питании озер уменьшалась; более медленно уменьшалась роль поверхностных вод. Этому периоду, очевидно, соответствуют накопление слоя ила, выстилающего котловины соляных озер, и увеличение концентрации солей в воде озер до почти насыщенных рассолов, возможно начинающих садку мирабилита. Грунтовые воды, выщелачивающие соли из пород ближайших районов, накапливающиеся в этих водах по мере приближения к озерным котловинам и приносящие в них сульфаты и хлориды натрия и магния, начинают играть все более существенную роль в питании соляных озер. Примерно в этот период началось образование в соляных озерах пластов мирабилита и эпсомита, обладающих наиболее высоким температурным коэффициентом. На большинстве озер образовывался пласт мирабилита, растворимость которого с изменением температуры изменяется наиболее резко. Пласт эпсомита, очевидно, отлагался в озерах, грунтовое питание которых в этот период более резко преобладало над поверхностным, а следовательно и концентрация магнезиальных солей в рапе была более высокой. Образование пластов мирабилита и эпсомита происходило, несомненно, под слоем рапы. По мере усиления сухости климата и за счет увеличения концентрации хлоридов в рапе вместе с осаждением эпсомита началось осаждение галита.

Образование пластов мирабилита по времени, очевидно, предшествовало образованию пластов эпсомита; во многих озерах пласт эпсомита залегал на пласте мирабилита, хотя наверняка имели место случаи, когда в отдельных озерах из-за различных условий питания их, после отложения пласта мирабилита и отчасти совместно с ним, начинал обра-

зовываться пласт галита, или после выпадения незначительных количеств мирабилита, не образовавших самостоятельного пласта, осаждался пласт эпсомита значительной мощности часто с большой примесью мирабилита. Возможно, что осаждение сульфата магния происходило не в виде эпсомита, а в виде двенадцативодного сульфата магния, позже перекристаллизовывавшегося в эпсомит. Осаждение галита происходило, очевидно, в некоторых случаях одновременно с осаждением верхних слоев пласта эпсомита, а в других — на более ранних стадиях его осаждения, что приводило к образованию слоя смешанных солей. На более поздней стадии продолжалось выпадение галита уже без магнезиальных солей. Большую часть приведенных разнообразных соотношений галита, эпсомита и мирабилита в солевых залежах можно наблюдать в различных озерах Джаксы-Клычского месторождения, что, с одной стороны, свидетельствует о большом разнообразии условий соленакпления в пределах одной Джаксы-Клычской котловины и, следовательно, о невозможности образования их за счет одного равномерно действующего испарения вод Аральского моря, и, с другой стороны, о множественности факторов, приводивших к образованию в озерах исходных рассолов различного состава и концентрации.

Отложение галита в озерах сопровождалось уходом рассолов на большую часть года внутрь солевой залежи. Озера из рапных становились «сухими» озерами. Это изменение состояния соляных озер, связанное с увеличением сухости климата и, очевидно, с окончательным отступанием реки, значительно изменило и термический режим солевых залежей. Благодаря лучшей, по сравнению с рапой, теплопроводностью галита увеличивался прогрев в летнее время как самого пласта галита, так и верхних частей сульфатного пласта и, главным образом, эпсомита. Вместе с тем резко увеличивалась и амплитуда колебаний температур пласта галита и сульфатного пласта, не только в течение года, но и в течение дня и ночи. Это приводило к образованию астраханита в уже отложившейся солевой залежи как за счет эпсомита внутри пласта галита, так и за счет пласта эпсомита и, в меньшей степени, за счет верхних слоев пласта мирабилита. Постепенно под пластом галита образовывался пласт астраханита. Надо отметить, что в этот период главную роль в питании соляных озер начинают играть грунтовые воды, при подчиненной роли поверхностных и почвенных вод. Начинается преобразование ими солевых залежей, Разумеется, как отложение солевых залежей, так и начало преобразования их происходило для разных озер Джаксы-

Клычского месторождения не одновременно. В разное время происходил и переход их в «сухие» озера, что в значительной степени было связано с постепенным понижением уровня грунтовых вод. Озера, расположенные на более высоких абсолютных отметках, проходили эти стадии развития раньше, чем озера, расположенные ниже, являвшиеся для грунтовых вод конечными. Общая картина значительно усложнялась тем, что котловины были выработаны рекой, располагались на разных уровнях, и движение грунтовых вод между ними происходило главным образом по отложениям древних русел, что позволяло некоторым озерам, расположенным на более высоких абсолютных отметках, оставаться рапными озерами значительно позже, чем некоторым озерам, расположенным ниже, но соединявшимся древними руслами с другими. То же происходило и в процессе преобразования солевых залежей. С постепенным понижением уровня грунтовых вод многие соляные озера, являвшиеся для грунтовых вод конечными, становились для них проточными, и в них наряду с привнесом солей значительное место начинает занимать и вынос солей. Этому способствовали явления, сопровождавшие образование в солевых залежах астраханита — уменьшение объема сульфатного пласта при перекристаллизации эпсомита и мирабилита в астраханит и образование за счет этого полостей и пустот между пластом галита и сульфатным пластом, а позже и между образовавшимся пластом астраханита и пластом эпсомита или мирабилита, растрескивание и обрушение в эти полости пласта галита на некоторых частях озера, вызывавшее часто выжимание ила на поверхность пласта галита. Преобразование эпсомита в астраханит внутри пласта галита вызывало образование в нем большого количества крупных пор и пустот, способствовавших лучшему проникновению внутрь пласта галита грунтовых вод, растворению ими астраханита и галита и образованию ноздреватой структуры пласта галита, часто называемой гранаткой. По мере выноса галита и уменьшения мощности его пласта прогрев пласта астраханита увеличивается, создаются условия для образования более высокотемпературных минералов, к которым можно отнести глауберит и тенардит. Этому благоприятствует как вынос солей из озера, так и усиление действия метаморфизирующих поверхностных и почвенных вод, которые с изменением структуры солевой залежи получают более легкий доступ в пласт галита и в верхнюю часть сульфатного пласта, где начинает образовываться сначала слой карбонатного ила и кашеобразного глауберита, а затем и тенардита. Постепенно с уменьшением мощности галита скопляющиеся на по-

верхности озера зимой и весной после таяния снега поверхностные воды, ранее в основном стекавшие в горизонт грунтовых вод за пределы озера и в меньшей части испарявшиеся и проникавшие в сульфатный пласт (для проточных озер), начинают в большей степени смешиваться с внутрипластовыми водами и участвовать в образовании прослоя ила и кашеобразного глауберита, а следовательно и тенардита. Полное удаление пласта галита обнажает на поверхности озера слой ила и глауберита, а затем и тенардита. Дальнейшее понижение уровня внутрипластовых вод ниже поверхности пласта тенардита вызывает постепенное разрушение и вынос пласта тенардита; в озере под коркой разложившегося глауберита и ила остается только пласт мирабилита (рис, 9).

Так в общем виде рисуется нам процесс образования и изменения солевых залежей Джаксы-Клычского месторождения.

Многочисленных представителей различных стадий изменения соляных озер можно и сейчас встретить на месторождении; они свидетельствуют о различной длительности процесса и отдельных его стадий в зависимости от конкретных условий каждого озера. Описанная выше схема, разумеется, не может охватывать всего комплекса изменений солевых залежей и тем более всех изменений внешних условий и соотношения различных факторов, воздействующих на солевые залежи. Несомненно, периоды более сухого климата в это время сменялись периодами большего увлажнения, периоды понижения уровня грунтовых вод периодами повышения их уровня, в результате чего в настоящее время на месторождении можно встретить многие явления, не укладывающиеся в эту схему. Однако эти аномалии большей частью можно объяснить рассматривая их с точки зрения именно такого течения процесса изменения солевых озер Приаралья и учитывая возможные отклонения от него, объясняющиеся тесными и многообразными связями соляных озер с внешней средой.

Необходимо подчеркнуть положения, кажущиеся нам наиболее важными для практических целей, что тенардит в большинстве этих озер образуется главным образом за счет перекристаллизации астраханита в условиях, во-первых, потери солевой залежью галита и, во-вторых, потери верхними, слоями пласта астраханита  $MgSO_4$  при температурах этих слоев от 20 до 25°, что возможно в тех случаях, когда озеро становится проточным для грунтовых вод. Поступление в эти слои гидрокарбонатных почвенно-поверхностных вод способствует ускорению процесса удалением  $MgO$  в ил в виде  $MgCO_3$  или  $CaMg(CO_3)_2$ .

Образование тенардита, разумеется, происходит и за счет перекристаллизации мирабилита. Можно предположить однако, что под слоем галита этот процесс идет значительно медленнее, чем преобразование в тенардит астраханита, так как растворение мирабилита происходит со значительным поглощением тепла, охлаждающим пласт мирабилита ниже нижнего температурного предела образования тенардита. Поэтому тенардит образуется только в поверхностном слое мирабилита и с ничтожной скоростью. Пласт же астраханита легко прогревается на значительную глубину. При полной потере озером галита образование тенардита из мирабилита резко ускоряется, так как темный и черный ил, обнажающийся при этом на поверхности озера, нагревается солнцем до 40—50° и нагревает верхние слои мирабилита настолько сильно, что поглощение последним тепла не охлаждает эти слои ниже предела образования тенардита. Это можно было наблюдать в 1948 г. в западной части озера 125, покрытой слоем галита; на нескольких участках под галитом залегал пласт мирабилита с отдельными кристаллами тенардита на его поверхности. В 1955 г. после потери этой частью озера галита, когда на ее поверхности обнажился темно-серый и черный ил, на таких участках образовался пласт тенардита. В то же время на озерах со слоем галита, например, 12г, 25г и др., тенардит всегда встречается на слое астраханита, а на участках, где под галитом залегают мирабилит, обычно встречаются только кристаллы тенардита, не образующие пласта. На озере 11г, где разведочными скважинами под галитом астраханит не был обнаружен, очевидно, произошло полное превращение его в тенардит. Следует отметить, что эксплуатационными работами на этом озере под тенардитом были обнаружены линзы астраханита в прибрежных частях озера. То же, очевидно, справедливо и в отношении озера 130. Уплотнение пласта тенардита и преобразование его в монолитную плиту после выноса из озера слоя галита, по-видимому, также связано с кристаллизацией его из межкристалльной рапы в условиях сильного прогрева, превышающего 25° в пустотах и порах пласта тенардита. Состав рапы в тенардитовых озерах такого типа нередко сульфатно-натриевый, но с высоким содержанием хлористого натрия, что значительно понижает температуру интервала образования тенардита: Интересна совместная кристаллизация с тенардитом кристаллического глауберита.

Впервые кристаллический глауберит в современных соляных озерах был обнаружен в пробах, отобранных нами в сорах на полуострове Бузачи, в соре Кара-Куль на восточном берегу Каспийского моря и в соляных озерах Искин-

ской группы. Определение его было сделано Т. В. Ефимовской в 1954 году. В 1955 г. кристаллический глауберит был встречен в соляных озерах низовьев р. Чу. Микроскопическое изучение солей из озер Джаксы-Клычского месторождения и озер Садыр-бай показало присутствие его в количестве нескольких процентов, главным образом в пласте тенардита. В других районах он также приурочен к пласту тенардита и в меньших количествах встречается в пограничных с тенардитом слоях астраханита, или — еще реже — галита. Приуроченность его к пласту тенардита, и особенно к уплотненным его разновидностям, очевидно, указывает на образование его в основном за счет перекристаллизации кашеобразного глауберита. В соляных озерах полуострова Бузачи глауберит кристаллизовался в виде хорошо ограниченных сростков кристаллов под тонким слоем галита в слое кашеобразного глауберита и ила.

Состав рапы на мирабилитовых, галитовых и тенардитовых озерах не остается постоянным. На галитовых озерах рапа обычно содержит  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$ , не содержит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и относится к сульфатно-магниевого подтипу; в пластах мирабилита на этих озерах она иногда по составу может быть отнесена к сульфатно-натриевому подтипу, т. к. она содержит  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и не содержит  $\text{MgCl}_2$ . В мирабилитовых озерах состав рапы более часто сульфатно-натриевый с обычно высоким содержанием  $\text{NaCl}$  и преобладанием  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  над  $\text{MgSO}_4$ . Однако и в них нередко встречается рапа сульфатно-магниевого подтипа. В тенардитовых озерах встречается рапа и того и другого подтипа, часто даже на одном озере. Более часто сульфатно-натриевая рапа встречается на тенардитовых озерах, не имеющих пласта галита, но есть много исключений и среди таких озер. Еще более пестрыми являются в рапе любого озера количественные соотношения  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$ . В первую очередь это относится к внутрипластовой рапе. При этом наиболее резкие колебания в составе рапы в галитовых озерах наблюдались нами в пласте астраханита и на границе пластов галита и астраханита. Выражались они главным образом в соотношении  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$  при более постоянном содержании  $\text{NaCl}$ . При нанесении состава этой рапы на диаграмму изотермы  $25^\circ$  эта рапа попадает в поле кристаллизации тенардита, а рапа из нижележащего пласта мирабилита в поле кристаллизации астраханита.

Большая пестрота состава рапы, и особенно в слое астраханита на галитовых озерах, очевидно свидетельствует как о довольно интенсивном обмене солями с пластами твердых солей, так и о значительных перемещениях ее внут-

ри пластов и о происходящей здесь метаморфизации рапы и солевых залежей. Следует отметить, что рапа, отобранная из пласта тенардита на 125 озере в 1948—1949 гг., была в основном сульфатно-магниевого, а рапа, отобранная в 1955 г. после потери озером слоя галита, была преимущественно сульфатно-натриевой.

Пестрота состава рапы является лишним доказательством, во-первых, тесной связи рапы озер с грунтовыми и поверхностно-почвенными водами, во-вторых, наличия обмена солями с грунтовыми водами и, в-третьих, образования тенардита за счет выноса магнезиальных солей из пласта астраханита при достаточном прогреве этого пласта. В то же время она доказывает, что изменения, происходящие в составе внутрипластовой рапы, не могут полностью быть объяснены диаграммами изотермического испарения ее, а требуют учета результатов, происходящих с различной интенсивностью процессов метаморфизации и смешения рапы с грунтовыми и поверхностными водами.

Выше мы видели, что первым условием образования тенардита в галитовых озерах является изменение их режима, когда одновременно происходит поступление солей и начинается их вынос. Большая распространенность тенардитовых озер позволяет считать такое изменение режима явлением сравнительно частым. Ему, несомненно, способствует некоторое повышение количества атмосферных осадков. Обилие последних приводит к образованию на соляных озерах прослоев ила и глауберита и даже к растворению солевой залежи. Столь же важно и медленное и небольшое по амплитуде понижение уровня грунтовых вод. Быстрое понижение уровня вызывает заиливание солевой залежи, превращение преобразования мирабилита в тенардит и разрушение пласта мирабилита или тенардита фильтрующимися через них атмосферными осадками.

Вторым условием образования тенардита на озерах Приаралья является достаточный прогрев пласта астраханита или мирабилита, за счет которых образуется тенардит; при этом для образования последнего за счет астраханита достаточно озеру потерять часть пласта галита, а для образования за счет мирабилита необходимо, чтобы потеря озером пласта галита была значительно большей.

Уплотнение пласта тенардита и преобразование его в плиту происходят после снижения уровня рапы в течение лета ниже его поверхности, что доказано многочисленными откачками, в результате которых на тенардитовых озерах с рыхлым тенардитовым пластом образовывался пласт, аналогичный тенардитовой плите.

При дальнейшем падении уровня рапы ниже подошвы пласта тенардита и уменьшении связи озера с грунтовыми водами происходит разрушение пласта тенардита.

Таким образом, все три группы соляных озер Приаралья являются родственными по происхождению и представляют собой различные стадии существования соляных озер, которые могут переходить из группы галитовых в группу тенардитовых и в группу мирабилитовых озер. Этот переход связан с изменением режима грунтовых вод, в результате которого накопление хлористых и магниезиальных солей в галитовых озерах сменяется процессом постепенной их потери за счет понижения среднегодового уровня грунтовых вод в районе этих озер. Следовательно, процесс образования тенардита в этих условиях является одной из стадий потери озерами их солевых залежей. Возможно, и в мирабилитовых озерах при обратном течении процесса, т. е. при накоплении хлористых и магниезиальных солей, происходит образование тенардита. Более резкое понижение или повышение уровня грунтовых вод, очевидно, исключает образование пласта тенардита и приводит или к полной потере озерами солевой залежи или к накоплению в них более низкотемпературных минералов — астраханита, галита, эпсомита. Медленное течение процесса, необходимое для образования тенардита, и происходит в Приаралье благодаря незначительному количеству выпадающих здесь осадков, высоким величинам испарения и бедности района грунтовыми водами, к тому же залегающими здесь в породах с весьма малыми коэффициентами фильтрации, не превышающими нескольких десятков сантиметров в сутки.

### VIII. О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ТЕНАРДИТА

Выяснение условий образования тенардита в соляных озерах, а также наблюдения за ускоренным ходом этого процесса в соляных озерах Приаралья позволяют поставить вопрос о возможности преднамеренного воздействия на режим соляных озер с целью получения на галитовых озерах Приаралья пластов тенардита достаточной мощности и нужного качества.

Появление тенардитовых корок и тенардитового пласта на мирабилитовых озерах Джаксы-Клычского месторождения, связанное с понижением поверхности пласта мирабилита в центральных частях озер из-за длительной эксплуатации их, является одним из примеров воздействия на процесс образования тенардита, хотя и не вызванного преднамеренным желанием получить пласт тенардита за счет изменения

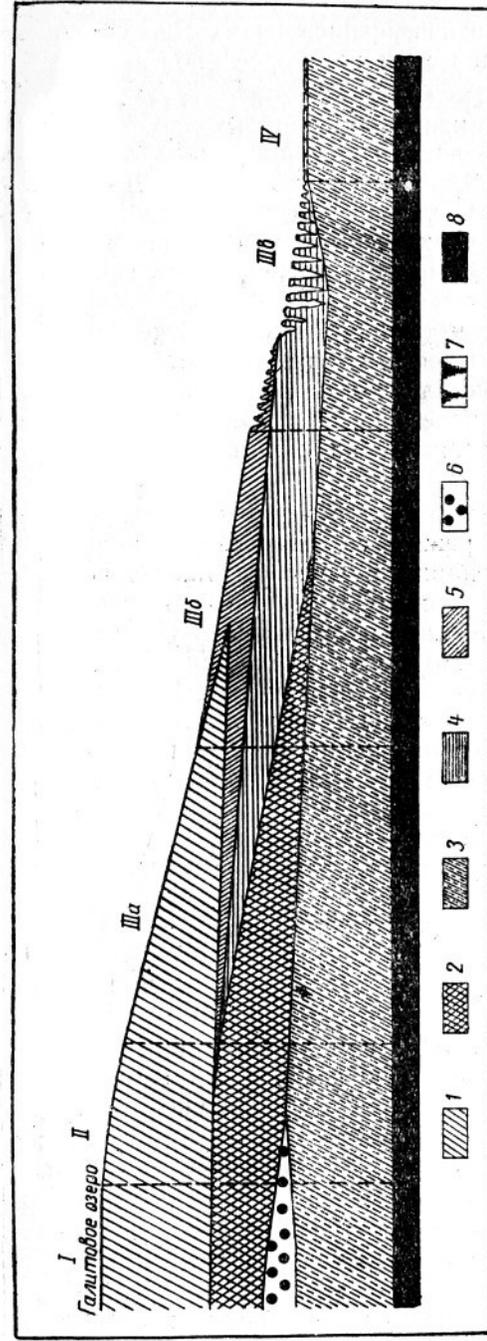


Рис. 9. Схема стадий изменения соляных озер Северного Приаралья.

Условные обозначения: 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 пласта эпсомита. II — Галитовое озеро стало проточным для грунтовых вод; мощность пласта галита уменьшается, астраханита — увеличивается за счет пласта эпсомита и мирабилита; появляется прослой глауберита с илом. IIIa — Озеро превращается в тенардитовое; мощность галита резко уменьшается; появляется и увеличивается в мощности пласт тенардита за счет астраханита. IIIb — Тенардитовое озеро: полностью исчерпает галит; мощность глауберита с илом увеличивается, а затем уменьшается за счет уплотнения; мощность тенардита увеличивается за счет астраханита и мирабилита; астраханит исчезает. IIIв — Тенардитовое озеро: слой глауберита с илом разрушается, превращаясь в гипсово-мирабилитовую корку; постепенно разрушается пласт тенардита, частично превращаясь в мирабилит, мощность которого увеличивается. IV — Мирабилитовое озеро с пластом мирабилита, покрытым слоем нагара, сильно загрязненного гипсом и нерастворимыми примесями.

режима мирабилитовых озер. Более интенсивному течению этого процесса способствовало повышенное количество осадков в 1947—1949 гг., вызвавшее и некоторое повышение уровня грунтовых вод.

Вторым примером такого непреднамеренного воздействия, также не связанного с желанием получить пласт тенардита, является эксплуатация Южного бассейна озера Джаксы-Клыч; она вызывает резкое увеличение испарения рапы и нарушает установившееся равновесие в пополнении этого испарения притоком грунтовых вод, что сопровождается понижением уровня грунтовых вод в системе ближайших к Южному бассейну галитовых и тенардитовых озер, которые стали для грунтовых вод проточными. Это повлекло за собой резкое увеличение потери близлежащими озерами пласта галита, усилило прогрев залегающего под ним сульфатного пласта и ускорило образование на них пласта тенардита.

Эти два примера свидетельствуют о возможности преднамеренного воздействия на режим соляных озер с целью получения на них пласта тенардита. Способы такого воздействия могут быть весьма разнообразными. Снятие части пласта галита, несомненно, должно способствовать усилению прогрева сульфатного пласта. Но одно это мероприятие еще не способствует удалению из солевой залежи магниальных солей, что необходимо для образования тенардита, и достаточная эффективность процесса, очевидно, не будет достигнута. Следовательно, удаление пласта галита необходимо дополнить удалением из солевой залежи, обогащенной магниальными солями рапы, главным образом из нижних слоев пласта галита и пласта астраханита. Это можно сделать, откачивая из озера рапу и сбрасывая ее в котловины или соляные озера, расположенные ниже по потоку грунтовых вод. При наличии поблизости котловин с более низкими отметками поверхности можно производить сброс рапы дренажной канавой.

На мирабилитовых озерах образования слоя тенардита можно достигнуть закачиванием на них в жаркое время года рапы из галитовых озер или грунтовых минерализованных вод.

Возможно, что достаточное понижение уровня грунтовых вод в районе какого-либо галитового озера может быть достигнуто, если вскрыть рядом с ним котлованом грунтовые воды, испарение которых сможет создать необходимый отток рапы из озера.

Несомненно, что результаты наблюдений за соляными озерами Приаралья и практические выводы из них требу-

ют проведения на соляных озерах опытных работ по изучению и выбору наиболее оптимальных условий прогрева сульфатного пласта и откачки из него рапы с целью получения тенардитового пласта достаточной мощности и высокого качества.

Не менее важным является изучение состава межкристаллической рапы, в различных пластах солевых залежей в различное время года и характера изменений ее состава. Изучение это необходимо проводить одновременно с изучением грунтовых и почвенно-поверхностных вод, питающих соляные озера.

2 апреля 1956 г.

## ЛИТЕРАТУРА,

1. Бергман А. Г., Лужияя Н. П. — Физико-химические основы изучения и использования соляных месторождений хлорид-сульфатного типа. Изд. АН СССР, 1951.

2. Валяшко М. Г. — Классификационные признаки соляных озер. Труды ВНИИГ, вып. XXIII, стр. 13—24, 1952.

3. Валяшко М. Г., Нечаев А. А., Пельш Г. К. — Экспериментальное исследование процессов метаморфизации природных соляных вод. Ч. V. Экспериментальное исследование процесса метаморфизации ионом кальция разбавленных растворов сульфатного типа Труды ВНИИГ, вып. XXVII, стр. 249—274, 1953.

4. Валяшко М. Г., Пельш Г. К. — Экспериментальное исследование процессов метаморфизации природных соляных вод. Ч. III. Метаморфизация насыщенных сульфатных растворов бикарбонатом кальция. Труды ВНИИГ, вып. XXIII, стр. 177—200, 1952.

5. Валяшко М. Г., Петрова Е. М. — Экспериментальное исследование процессов метаморфизации природных соляных вод. Ч. II. Метаморфизация ионом кальция соляных вод карбонатного типа Труды ВНИИГ, вып. XXIII, стр. 156—176, 1952.

6. Гроховский Л. М. — Джаксы-Клычское месторождение сульфатов натрия Сборник работ треста Мосгеолнеруд, вып. I, стр. 43—83, 1950.

7. Гроховский Л. М. — О галитовых озерах северо-восточного Приаралья Сборник работ треста Мосгеолнеруд, вып. II, стр. 3 — 69. 1953.

8. Иванов А. А. — Основы геологии и методика поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. Труды ВСЕГЕИ Министерства геологии. М., 1953.

9. Курнаков Н. С., Жемчужный С. Ф. — Об условиях превращения десятиводной глауберовой соли в тенардит в соляных озерах Зап. Всерос. Минер О-ва, II сер, 37 ч. Протоколы заседаний, стр 49 —52, 1899.

10. Лепешков И. Н. — Калийные соли Волга-Эмбы и Прикарпатья. АН СССР, Москва, 1946.

11. Пельш А. Д. — Диаграмма изотерм 0°, 2,5° и 5° взаимной водной системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2 = 2\text{NaCl} + \text{MgSO}_4$  Труды ВНИИГ, вып. XXVII, стр. 17—33, 1953.

12. Пельш А. Д. — Политермы растворимости хлорида и сульфата натрия в интервале — 10+35°. Труды ВНИИГ, вып. XXI, стр. 145 — 159, 1949.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ  
РАЙОНОВ ГЛАВГЕОЛОГИИ РСФСР

# СБОРНИК РАБОТ

ВЫПУСК

4



Москва, 1959 г.