

# ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОЗЕРА КУЧУК

В.В. Зацепин, А.А. Соболев

*Исследовано современное состояние озера Кучук и определен этап его эволюционного развития.*

В процессе промышленного использования озерных месторождений минеральных солей необходимо учитывать условия их формирования и эволюционного развития. Кучукское месторождение минеральных солей, которое представляет собой открытую для внешнего воздействия сложную водно-солевою систему с донными отложениями солей, претерпевает непрерывные изменения в процессе еще незавершившегося развития. Озера Кулундинской степи образовались в послеледниковую эпоху в процессе континентального соленакопления [1]. Формирование месторождения минеральных солей в озере Кучук происходило в благоприятных природно-климатических условиях, характеризующихся засушливым (аридным) климатом региона, наличием бессточных озерных котловин и источников водно-солевого питания. Образование же в этих условиях крупного месторождения сульфатного типа в озере Кучук обусловлено генетической связью его с озером Кулундинским, речным типом питания, большой водосборной площадью самих озер и рек Кучук, Кулунда, Суета. Накопление солей происходило в результате растворения поверхностными и грунтовыми водами и инфильтрующими осадками различных минералов почвенного комплекса и водовмещающих пород на всей водосборной площади. При этом основную роль играли грунтовые и подземные воды, которые дренировали в озера и реки, через которые затем поступали в полупроточное озеро Кулундинское и в бессточное озеро Кучук. В озере Кулундинском в результате испарения воды происходило концентрирование рассолов до суммы солей, приблизительно равной 5 % мас. Поскольку уровень озера Кулундинского превышал уровень озера Кучук примерно на 1,5 м, рассолы самотеком поступали в озеро Кучук по протоке соединяющей озера. В процессе эволюционного развития в аридных условиях минеральные озера сульфатного типа проходят три стадии развития: подготовительную, самосадочную и "сухого" озера. Все озера проходят эти стадии, однако скорость формирования их различна и зависит от начальной глубины озерной котловины,

площади водосбора, концентрации и соотношения солей в водах и т. д. [2]. Поэтому минеральные озера Кулундинской степи (Кучук, Кулундинское, Большое Яровое, Малое Яровое, Бурлинское, Малиновое и др.), относящиеся к сульфатному типу, в настоящее время находятся на разных стадиях развития.

На подготовительной стадии происходит постепенное повышение концентрации растворимых солей в рапе и выделение в осадок труднорастворимых солей в результате процессов метаморфизации. Первая стадия завершается насыщением рапы легкорастворимыми солями. Последовательность кристаллизации солей на самосадочной стадии развития озер сульфатного типа обусловлена составом рапы и физико-химическими свойствами солей (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub> и др.). Сульфат натрия характеризуется высоким температурным коэффициентом растворимости и кристаллизуется в политермических условиях при охлаждении рапы в осенне-зимний период в виде мирабилита. Хлористый натрий частично может кристаллизоваться в виде гидрогалита, но с повышением температуры рапы быстро растворяется. Так как температурный коэффициент растворимости хлорида натрия небольшой, то кристаллизуется галит в изотермических условиях при испарении воды в летнее время.

Хлорид магния на данном этапе развития озера является невыпадающим компонентом, хотя часть Mg<sup>2+</sup> при дальнейшем концентрировании рапы может связаться с SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (астраханит, эпсомит и др.).

Следовательно, на первом этапе самосадочной стадии развития озера сульфатного типа (политермического) в условиях аридного климата Кулундинской степи начинается кристаллизация мирабилита, который в летний период полностью растворяется. На этой стадии развития находится озеро Кулундинское. По мере дальнейшего повышения концентрации сульфата натрия увеличивается количество кристаллизующейся новосадки мирабилита, заполняющей более глубокие участки озерной котловины. Если вся новосадка не успевает раствориться в летний период, то начинается формирование линзы

мирабилита. На этих участках, вследствие вторичных процессов перекристаллизации новосадки, образуется более плотный пласт мирабилита, называемый стеклецом. На политермическом этапе самосадочной стадии развития озера Кучук сформировалась линза мирабилита-стеклеца на площади около 135 км<sup>2</sup> средней мощностью около 2,5 м. В условиях аридного климата сульфатное озеро в ходе своего развития неизбежно переходит от политермического к смешанному этапу самосадочной стадии характеризуемого ежегодной кристаллизацией мирабилита в осенне-зимний период и галита летом.

В начале кристаллизация галита происходит эпизодически, в наиболее засушливые годы, когда уровень рапы понижается и она становится насыщенной относительно хлорида натрия. При увеличении уровня рапы выпавший ранее галит растворяется. Дальнейшее концентрирование рапы приводит к постоянной садке галита в летний период, который не растворяется и формирует покровный слой, который изолирует линзу мирабилита-стеклеца от рапы. С образованием поверхностного слоя физико-химические процессы происходящие в поверхностной рапе будут отличаться от тех, которые происходят в придонном слое. Поверхностные отложения создают диффузионное сопротивление процессу растворения мирабилита, а также формируют слой рапы, которая насыщена относительно сульфат-иона. А когда в такой насыщенный раствор попадают тонущие кристаллы галита, то они переводят точку состава придонной рапы в область кристаллизации тенардита. На этой стадии развития находятся озера Бурлинское и Малиновое. В них мирабилит перекрыт сверху тенардитом и галитом. В перспективе к такому состоянию придет и озеро Кучук, только неизвестно за какой период времени.

Анализ многочисленных исследований по прогнозированию гидрохимического режима озера Кучук [3] показал их ненадежность в краткосрочной и среднесрочной перспективе, хотя при этом учитывались материалы по геологии, гидрогеологии, гидрохимии, гидрологии, климату, антропогенному влиянию и др.

Авторы считают, что прогноз состояния озера Кучук будет зависеть от успеха в предсказаниях климатических условий для данного региона, а такая задача еще далека от решения. Изложенные представления о механизме формирования и развития минеральных озер сульфатного типа подтверждаются

реальными процессами, протекающими в озере Кучук. Скорость дальнейшего развития озера будет связана с изменением его глубины.

Сопоставлять составы рапы за разные годы в озере, где происходит садка солей, сложно, а предсказать на основании этого дальнейшее изменение состава пока не удастся, поэтому в этом случае можно говорить об определенном постоянстве путей кристаллизации солей. Общее представление о физико-химических процессах, протекающих в озере, дает равновесная диаграмма системы  $\text{Na}^+, \text{Mg}^{2+} // \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ . Изотермическая диаграмма этой системы при + 25 °С, если она учитывает метастабильные состояния, может, с определенной степенью приближения, определять порядок кристаллизации солей, накапливающихся в донных отложениях, а также давать общее направление изменения состава рапы.

На рис. 1 дан фрагмент диаграммы, где нанесены точки состава рапы (в августе) за период наблюдений за озером Кучук [4, 5].

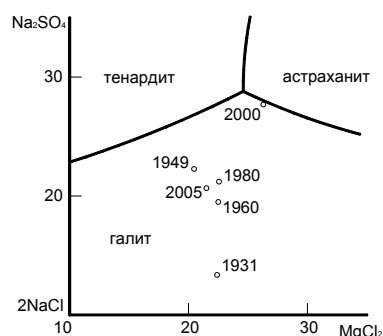


Рисунок 1 – Состав рапы озера Кучук в 1931-2005 г. (фрагмент взаимной четырехкомпонентной диаграммы при + 25 °С)

Анализ их показывает, что все они находятся в поле кристаллизации галита, пути кристаллизации солей остаются постоянными, а многочисленные внешние воздействия на водно-солевую систему озера за этот период не вывели ее из состояния равновесия.

Более чувствительным критерием оценки динамики развития озера является толщина слоя рапы [6], т. к. кроме солей участвующих в межфазовых превращениях есть соли, которые характеризуются высокой степенью растворимости и при существующей минерализации не выделяются в твердую фазу – "невыпадающий компонент". Толщина рапы или ее средневзвешенный уровень может быть определен как:

$$\bar{H} = \frac{V}{S},$$

## ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОЗЕРА КУЧУК

где  $V$  – объем рапы,  $m^3$ ;  $S$  – поверхность водного зеркала  $m^2$ .

При испарении воды концентрация солей в рапе повышается, тогда отношение концентрации невыпадающего компонента в сгущенной рапе к исходной будет характеризовать кратность сгущения:

$$\mu = \frac{e \cdot \rho}{e_0 \cdot \rho_0},$$

где  $e$ ,  $e_0$  – концентрация невыпадающего компонента в сгущенной и исходной рапе, % мас.;  $\rho$ ,  $\rho_0$  – плотность рапы сгущенной и исходной,  $g/cm^3$ .

Более удобно пользоваться для характеристики состояния системы коэффициентом кратности солевого сгущения рапы  $\Delta C$ , т. к. в этом случае отсчет ведется от нуля. Величины  $\mu$  и  $\Delta C$  безразмерны и связаны уравнением:

$$\Delta C = \mu - 1, \text{ или } \Delta C = \frac{e \cdot \rho - e_0 \cdot \rho_0}{e_0 \cdot \rho_0}.$$

Сравнение гидрохимических данных за 1960 и 2005 годы показало, что за этот период  $\Delta C=0,04$ . Средневзвешенный уровень рапы в 1960 году, с учетом морфометрических параметров озера Кучук [3] составил  $\bar{H}=2,08$  м. Учитывая, что уровень рапы озера, ее концентрация, плотность, соотношение компонентов и другие параметры водно-солевой системы подвержены изменениям, мы сравнили данные 1960 года с 2001 годом, когда уровень рапы был самым низким за наблюдаемый период. Величина  $\Delta C=0,17$ .

Анализируя полученные величины и сравнивая их с результатами исследований других озер Кулундинской низменности [7] можно сделать вывод, что озеро находится на политермической стадии развития, для которой  $\Delta C < 0,4$ .

По данным В.Г. Эдигера регулярная кристаллизация солей для условий соляноозерной степи Кулундинской низменности проис-

ходит при коэффициенте кратности сгущения  $\Delta C \geq 0,4$ . При меньших значениях  $\Delta C$  преобладают процессы политермической кристаллизации и только иногда изотермической.

При коэффициенте кратности сгущения рапы  $\Delta C=0,4$  уровневый режим самосадочных озер находится в пределах 0,65-1,3 м.

Таким образом, озеро Кучук в настоящее время находится в начальной стадии смешанного цикла эволюционного развития, а периодически возникающая кристаллизация галита при данных параметрах, характеризующих его гидрохимический режим, не может рассматриваться как начало формирования устойчивого покровного слоя изолирующей линзы мирабилита-стеклеца и не позволяющего извлекать сульфат натрия из рапы существующим способом.

### ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольская Ю. П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961. – с. 186.
2. Валяшко М. Г. Закономерности формирования месторождений солей. М.: Изд-во Московского ун-та, 1962. – С. 397.
3. Производство сульфата натрия из рассолов озера Кучук / Под ред. Е. Е. Фроловского. – СПб.: Изд-во С.-Петербур ун-та, 2001 – с. 444.
4. Букштейн В.М. Изменение химического состава рапы озера Кучук в многолетнем цикле. // Тр. ин-та / ВНИИГ. – 1944. – Вып. 21. – с. 243-253.
5. Пашинин Н.И., Эдигер В.Г. Гидрохимический режим минеральных озер Кулундинской низменности. // Тр. ин-та / Алт. политехн. институт им. И. И. Ползунова. – 1976. – Вып. 57. – с. 32-59.
6. Эдигер В.Г. Метод параметрических коэффициентов для решения задач химической технологии. // Тр. ин-та / Алт. политехн. институт им. И. И. Ползунова. – 1970. – Вып. 8. – с. 128 – 141.
7. Эдигер В.Г. Закономерности формирования самосадочного озера. // Тр. ин-та / Геологический институт. – 1971. – Вып. 32. – с. 49-67.

## МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТЕНИЯХ СЕВЕРНОГО АЛТАЯ

С.С. Мешкина, О.А. Ельчинова, Е.В. Шаховцева

*В статье исследован элементный химический состав растений Северного Алтая на содержание Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Sb, As и Hg. Выявлено, что концентрация исследованных химических элементов в растениях Северного Алтая находится в пределах фоновых значений и укладываются в диапазон нормального функционирования растений.*

Растительность, играя роль промежуточного резервуара, через который микро-

элементы переходят из почв, а частично из воды и воздуха в человека и животных, явля-