

# 艾比湖水盐变化原因及影响研究

陈志军

(新疆博州水文水资源勘测局, 博乐市北京路 445 号 833400)

**摘要:**从湖泊水文要素出发, 基于湖泊和流域的关系, 对半个世纪来艾比湖面积、矿化度等水文要素变化趋势进行了分析, 并对变化原因进行了探讨, 结果表明, 相对封闭及较小尺度的流域面积等自身特性, 决定了其水资源系统自我调节能力的脆弱性; 而近年来流域上的人类活动, 增大了降水径流滞留时间和蒸发作用, 加大了对水资源的利用量, 最终导致汇入湖泊的水量不断减少, 矿化度在湖水量不断减少的情况下浓缩升高, 最后就艾比湖水盐趋势变化及影响进行了讨论。

**关键词:**面积变化; 矿化度; 相关分析; 艾比湖

**中图分类号:**P343.3      **文献标识码:**A      **文章编号:**1008—858X(2007)02—0001—06

在内地地区, 社会经济发展对水的依赖程度越来越大。人们为满足农业生产需水要求, 极大地改变了水资源的时空分布和循环规律, 使得众多地处河流尾间的湖泊受到人为活动的影响。湖泊萎缩和咸化现象普遍, 进而导致流域生态系统退化, 对区域经济可持续发展和人类生存环境造成了极大的影响<sup>[1]</sup>。近年来, 一些专家学者也不同程度对西部湖泊及其咸化过程和水资源变化做了研究<sup>[2]</sup>。艾比湖流域是干旱区西部的一个内陆封闭小流域。半个世纪以来, 湖泊水资源退化严重, 突出表现在湖水位下降、水域面积减小、水质咸化、生态退化等。作为一个内陆封闭流域, 区域自然条件决定了艾比湖流域水资源及其生态的脆弱性, 因此更需要注意水资源变化及其影响因素。从水质及湖泊和流域关系出发, 结合历史资料和近年实测资料, 运用相关分析等方法, 对变化原因进行了分析, 为合理开发艾比湖资源提供参考。

## 1 研究区概况

艾比湖区位于天山北侧准葛尔盆地的西南

隅, 是艾比湖水系的尾间湖。地理坐标为 E82°35′~83°11′, N44°54′~45°08′。艾比湖属典型的中温带干旱区气候特征, 区内平均气温 7.8℃, 平均降水量约 105.17 mm, 年蒸发量 2 221.3 mm, 水经过强烈蒸发而浓缩; 湖面海拔 195 m, 平均深度 1.4 m, 艾比湖流域总径流量 37.46×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 其中年径流量大于 1×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 的河流有 7 条, 历史时期可直接注入湖中。20 世纪 50 年代以来随着人类大量引水和修建水利工程, 目前有地表水持续补给的只有博尔塔拉河和精河, 其余河流以潜流方式流入湖盆。

## 2 艾比湖水盐变化及相关分析

### 2.1 湖泊对流域变化的指示性分析

一般情况下, 区域气候变化和流域地表变化所带来的影响, 会通过 2 个圈层间的水文要素给予响应, 这些水文要素最终通过一定的过程集中到相对稳定的洼地——湖泊, 从而形成一个可综合反映流域变化的“汇”。尤其对艾比湖这种内陆封闭湖泊流域系统, 这种关系更加

显著。研究湖泊诸特性对流域的指示响应是分析流域变化对水资源影响的基础,湖泊的特性通常包括水量、面积、矿化度、补给系数等。

2.2 艾比湖近年面积变化显著

从某种意义上讲,湖泊面积的变化反映了湖泊储水量的变化。按照艾比湖面积变化速度,大至可分为 6 个阶段(详见图 1)。第 1 阶段,自然萎缩期(晚更新世~20 世纪 50 年代初期)。大约在 10 万年的时间里,湖面由 3 000 km<sup>2</sup> 缩小到 1 070 km<sup>2</sup>,平均每年缩小 0.013 km<sup>2</sup>左右,贮水量由 700×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,减少到 30×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,年均减少 0.006 7×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,变化极为缓慢;第 2 阶段,快速萎缩期(20 世纪 50 年代初至 70 年代初)。1950 年至 1972 年的 22 年间,湖面由 1 070 km<sup>2</sup>缩小为 589 km<sup>2</sup>,年均缩小 21.9 km<sup>2</sup>,其中 1958~1959 年一年间,湖面面积减少了 137 km<sup>2</sup>,变化极为迅速;第 3 阶段,缓慢萎缩期(20 世纪 70 年代初至 80 年代初)。1972 至 1983 年的 11 年间,湖面由 589 km<sup>2</sup>缩小为 522 km<sup>2</sup>,年均缩小 6.1 km<sup>2</sup>,变化比较缓慢;第 4 阶段,变化起伏期(20 世纪 80 年代初至 90 年代中期)。1983 年至 1995 年的 12 年间,湖面经历了两个较大的起伏变化,最大年均增减率分别为 106 km<sup>2</sup>/a (1987~1989 年)和 -40 km<sup>2</sup>/a (1989~1995 年);第 5 阶段,快速扩张期(20 世纪 90 年代),1995 年至 2000 年,湖面面积快速增加,由 473 km<sup>2</sup>增加到 938 km<sup>2</sup>,年均增加 93 km<sup>2</sup>,变化迅速;第 6 阶段,相对平稳期(21 世纪初)。2000 年至 2006 年 4 月,湖面面积有增有减,但变幅不大,基本在 800 km<sup>2</sup>至 950 km<sup>2</sup>左右,5 年间总共减少了 53 km<sup>2</sup>。

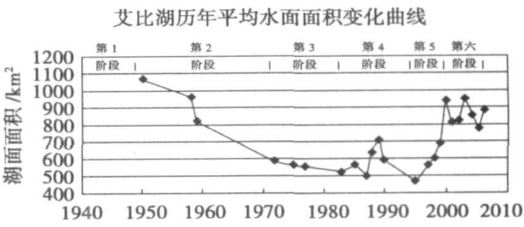


图 1 艾比湖历年平均水面面积变化曲线

Fig.1 Annual average water surface area of the Ebinur Lake between 1994~2010

2.3 湖水矿化度及水化学特征变化

湖水含盐量变化主要是由进出湖盐量变化引起的,对于艾比湖这样的封闭流域终端湖泊来讲,一般只能是积累或浓缩、稀释的过程。矿化度是用来表征单位水体盐含量的一个指标,因此通过湖水矿化度变化可以间接反映湖体得到的盐分及水体变化情况。

内陆湖区湖泊面积(储水量)的改变常引起湖水含盐量的变化,尤其是封闭流域的终端湖泊,因为没有出流影响,入湖水量的改变往往就是比较直接的稀释或浓缩的过程。结合图 1 和表 1 来看,20 世纪 50 年代~80 年代初期湖泊面积急剧缩小近一倍左右,矿化度也随之急剧增大,平均每年上升 1.48 g/L 左右。20 世纪 80 年代~21 世纪初以来,随着艾比湖面积增大,矿化度增长速率有所减缓,这说明此期间艾比湖水面积变化和湖水含盐量之间有着直接的关系。总体来讲,艾比湖一直处在一个盐分积累的过程中,矿化度不断上升,从 20 世纪 50 年代的 70 g/L<sup>[3]</sup>上升到 21 世纪初期的 120 g/L,50 多年间上升了近 52 g/L,平均上升 1.04 g/L 左右。

表 1 艾比湖湖水矿化度上世纪不同时期变化一览表<sup>[4-6]</sup>

| Table 1 Salinity of the Ebinur Lake water during different periods of last century |       |       |       |       |         |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------------------|
|                                                                                    | 50 年代 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代   | 2002~2004               |
| 矿化度/(g/L)                                                                          | 70    |       | 88.7  | 109.7 | 100~115 | 92.1~129.9 <sup>①</sup> |

①为博州水文局 2002~2005 年实测值

在面积变化的同时,水体的主要离子也发生着变化。表 2 分别对 1987~1989<sup>[7]</sup>和 2002~2005 年的主要离子含量变化进行了比较。可

以看出艾比湖离子组成,基本以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 Na<sup>+</sup>为主,属 SO<sub>4</sub>-Na-Ⅱ型,除 Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>外,其他离子均有不同程度的降低,说明水体一

正处于盐化过程。

表 2 艾比湖水体主要离子含量百分比变化

Table 2 Content and change of the main ions in the Ebinur Lake

/ %

| 项目<br>年份  | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> |
|-----------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1987~1989 | 30.61           | 0.33             | 4.12             | 32.56           | 36.05                         | 0.30                          | 0.10                          |
| 2002~2004 | 33.37           | 0.55             | 3.29             | 31.01           | 36.48                         | 0.19                          | 0.10                          |

3 变化分析

3.1 流域气候背景

全球气候在过去的 40 a 中变暖了 0.2~0.3 ℃,而中国在 1951~1990 年期间年平均温度升高了 0.3 ℃<sup>[8]</sup>。艾比湖流域 50 多年来总

体温度呈缓慢上升趋势,从图 2 的气温变化过程可以看出,各站的振幅具有较好的同步性。表 3 中列出了各站年平均气温的趋势方程及相关系数,在 0.05 的信度下均通过了显著性检验,说明艾比湖的增温趋势是明显的,近 10 a 是该流域最暖的时期,平均气温比前 30 a 上升了 0.7 ℃,其中博乐增温最大为 0.9 ℃,温泉最小为 0.3 ℃,而且增温幅度未见明显减缓迹象。

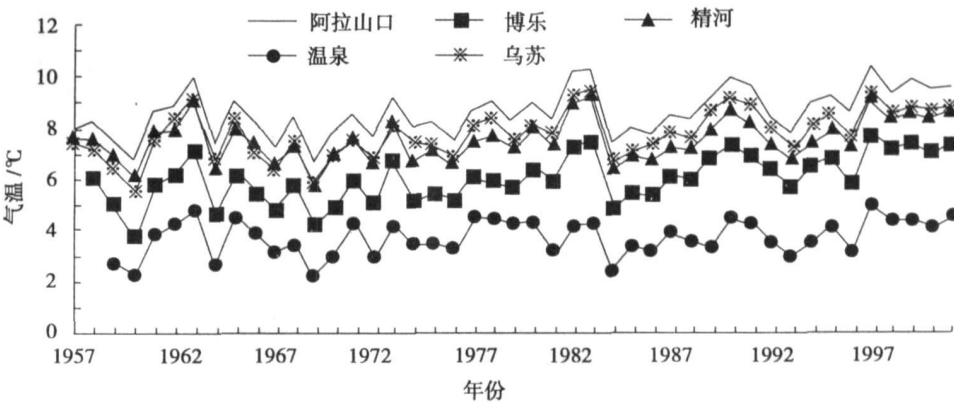


图 2 艾比湖各站年平均气温变化

Fig.2 Annual average temperature of each observation station in the Ebinur Lake region

艾比湖流域年降水量的变化除了精河、温泉外没有明显变化趋势(图 3)。表 3 的年降水量趋势方程的相关系数很低,不能通过 0.05 的显著性检验。就平均而言,20 世纪 90 年代与前 30 a 平均值相比,整个流域年降水量增加了 9.3%,其中温泉的增幅最大,为 32.0%;而阿拉山口、博乐的降水是减少的,分别减少 13.8%和 5.3%。艾比湖流域这种气候变化特点是与整个新疆气候变化趋势相一致的<sup>[9]</sup>。

艾比湖流域蒸发量(实际反映的是蒸发能力)的变化自 20 世纪 60 年代以来一直呈现出

下降趋势,这是一个值得进一步研究的非常特殊的现象。因为许多研究指出,全球变暖会直接导致水循环加快,增强降水和蒸发,但在艾比湖流域气温升高、降水增多的同时,蒸发量却在减少。在阿拉山口,1981 年以来蒸发量呈直线下降,由 80 年代的 4 334.7 mm/a 减少到 90 年代的 3 855.9 mm/a,减少了 11.0%。其线性趋势的倾向率为-52.731 mm/a,相关系数 0.77,通过信度为 0.001 的显著性检验。其余 4 站也都不同程度的呈现出下降趋势,下降幅度在 0.6%~13.7%之间,就其平均而言,20 世纪 90

年代年蒸发量比前30 a(1961~1990 年)平均值 减少了 9.2%。

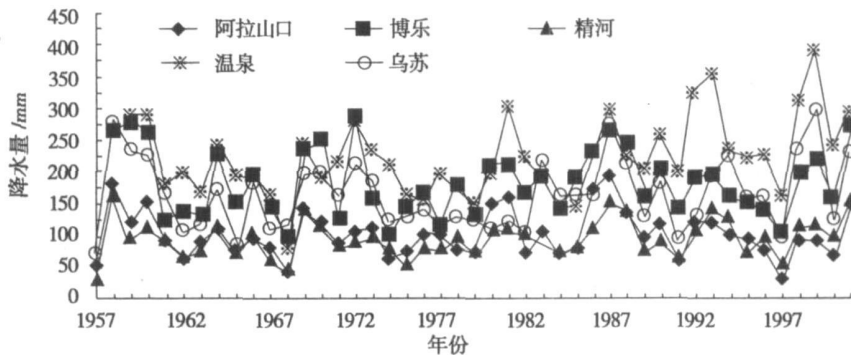


图 3 艾比湖各站年平均降水量变化

Fig.3 Annual average precipitation of each observation station in the Ebinur Lake region

表 3 艾比湖流域气温及降水趋势方程及相关系数

| Table 3 Trend equation and correction coefficient of temperature and precipitation in the Ebinur Lake drainage basin |                        |          |    |                      |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----|----------------------|--------------|
| 站名                                                                                                                   | 年平均气温趋势方程及相关系数         |          |    | 年降水量趋势方程及相关系数        |              |
| 阿拉山口                                                                                                                 | $Y=0.034\ 2x+7.837\ 5$ | $r=0.49$ | 显著 | $Y=0.056\ 1x+102.7$  | $r=0.02$ 不显著 |
| 博乐                                                                                                                   | $Y=0.042\ 8x+5.015\ 8$ | $r=0.59$ | 显著 | $Y=0.098\ 6x+187.7$  | $r=0.02$ 不显著 |
| 精河                                                                                                                   | $Y=0.023\ 7x+7.074\ 2$ | $r=0.37$ | 显著 | $Y=0.690\ 3x+84.706$ | $r=0.29$ 显著  |
| 温泉                                                                                                                   | $Y=0.017\ 4x+3.330\ 1$ | $r=0.31$ | 显著 | $Y=1.821\ 3x+181.57$ | $r=0.36$ 显著  |
| 乌苏                                                                                                                   | $Y=0.036\ 5x+6.976\ 5$ | $r=0.51$ | 显著 | $Y=0.702\ 6x+149.94$ | $r=0.17$ 不显著 |

从相互关系来看,研究期间的水面积和气温、降水变化没有明显的相关关系,流域平均蒸发的相关系数为 0.40,说明蒸发的变化对湖水面积的大小有一定的影响,而气温、降水变化对湖泊水资源的影响有限。

### 3.2 流域水循环变化

按水量平衡的观点,湖泊面积的变化是由湖水量的收支变化引起。统计资料显示,由于艾比湖的湖面蒸发变化对面积的大小有一定的影响,而降水对面积无明显的关系,因此引起湖面面积的变化的主要因素是入湖径流量的变化。从 20 世纪 50 年代以来,为适应人口增加和农业生产的不断扩大,流域内开始大规模的水土开发和水利建设,大面积的开荒造田,河流流经地区为了灌溉大量新开垦的耕地,在湖泊上中游地区大规模拦蓄引水,在耕地大面积增加的同时,落后的灌溉方式使得亩耗水量居高不下,注入湖泊的径流量大为减少,甚至根本断流。

流域耗水量 20 世纪 50 年代初为 $4.50\times10^8\text{ m}^3$ ,到 20 世纪 80 年代增至 $21.9\times10^8\text{ m}^3$ [10]。随着流域灌溉面积和水库截流量的增多,地表、地下入湖水量不断消减,在此期间的湖面面积萎缩了一半,可以说人为因素增大了降水径流进入地表和汇入湖泊前的蒸发作用。自 20 世纪 90 年代以来,由于湖面降水和河流地表径流量的增加,加之蒸发量减少和灌溉面积变化不大,以及大力推广先进的高效生态农业和节水灌溉技术,使得入湖水量大幅度增加,湖泊面积迅速扩大,并维持在较高水平。

因此可以说,对于一个相对封闭的流域,自身特性决定了其水资源系统自我调节的脆弱性。近 50 年来流域上的人类活动增大了降水径流在流域上的滞留时间,大面积的灌溉人为地加大了蒸发作用。由于积水区域的有限性,以及径流和外界的不连通,部分蒸发的水汽随环流流出流域,资源的补给与消耗的负均衡状态最终导致流域持水量和汇入湖泊的水量减

少。随着工农业耗水量的增加,流域内的耗水量将进一步扩大,人湖争水的矛盾将更加突出。

从 1987 年以来近 20 a 湖泊水盐平衡计算来看,增加的盐分十分有限,每年通过地表、地下径流进入艾比湖盐分不到其总含盐量的 1%,这种数量级对湖水矿化度的短期变化是没有多大影响的。这说明湖泊矿化度的上升主要是入湖径流量减少,在蒸发作用下,加大了流域水量在环流作用中的流失,湖泊水循环失衡,从而造成湖水盐分浓缩。相关分析表明,艾比湖面积变化量与入湖径流量的偏相关系数为 0.57,说明入湖径流对于湖泊面积增减的重要性和相关性。就湖泊本身的变化来说,这个时期艾比湖的面积变化和中亚地区的伊塞克湖的变化有相似之处<sup>[1]</sup>。

## 4 变化趋势及影响

### 4.1 演变趋势问题

根据现代系统论和自组织理论,一个系统只有不断与外界环境进行物质、能量、信息的交换,才能维持自己的有序性,增加“负熵流”,使系统朝着更有序的方向演化。如果系统不与环境交流,处于封闭状态,或交换不畅,系统内部的熵就会不断增大,从而使系统无序化,降低系统的调节能力和稳定性。从以上分析可以看出艾比湖流域水资源的承载能力是比较脆弱的,从总体趋势来看,近半世纪来,艾比湖的水少、水脏都是典型的“熵增大”。因此,对艾比湖流域水资源未来演变方向应该有一定的认识,从近年来水盐变化的原因分析,其今后的发展方向和速度主要取决于流域人类活动的影响,而这与流域水资源利用程度和开发方式关系密切。随着湖面的缩小,在现代的影响强度下,湖面蒸发会有一定降低,面积变化趋缓,但问题依然会很突出。

### 4.2 影响分析

根据博州水利水电勘测设计院 2000 年的分析,认为流域用水与蒸发使得流域年缺水量至少在 $3.137 0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,占总水量的 14.42%,这

相对于一个封闭流域的水资源储量与开采量来说是个十分严峻的问题,为了湖区的生态系统,必须保持一定的水域面积,因此应采取措施,增加入湖水量。从污染物含量看,目前湖水污染主要是农田灌溉后渗入的高矿化度污水,工业污染物含量较低。据博州水文局 2005 年入河排污口调查结果显示,工业废水只占流域年污水的 1/40,因此与工业污染相关的镉、汞、砷、铅等污染物非常少,而与农业生产密切相关的矿化度、氯离子、硫酸根离子、氨氮等年排放量较大。水体的 pH 值、氯离子、硫酸根离子、COD 等严重超标。水质恶化造成湖滨带土壤盐渍化和湿地植被退化,湿地指示物种减少而盐生植物明显增多。由于流域植被覆盖稀疏,水土流失严重,因此,目前艾比湖的环境现状及发展趋势并不乐观,水资源的合理配制与开发已成为流域发展必须妥善处理的主要问题。尤其作为一个环境承载力有限的封闭流域,退化具有某种程度的不可逆性,一旦破坏很难恢复。

### 参考文献:

[1] 秦大河.中国西部环境演变评估[M].北京:科学出版社,2002.

[2] 姜加虎,黄群.我国西部地区湖泊水资源利用与湖水咸化状况分析[J].干旱区地理,2004,27(3):300—301.

[3] 贾春光,王晓峰,杨龙,等.艾比湖水位变化对湖区生态效益影响的初探.新疆师范大学学报,2005,24(3):142—144.

[4] 施雅风.气候变化对西北华北水资源的影响[M].济南:山东科学技术出版社,1995.17—25.

[5] 樊自立.新疆土地开发对生态环境的影响及对策研究[M].北京:气象出版社,1996.16—159.

[6] 刘亚传,常厚春.干旱区咸水资源利用与环境[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1992.170—191.

[7] 李涛.艾比湖水化学演变的初步研究[J].湖泊科学,1993,5(3):235.

[8] 胡汝骥,樊自立,王亚俊,等.近 50a 新疆气候变化对环境的影响评估[J].干旱区地理,2001,24(2):97—103.

[9] 杨青.近 50a 新疆气候变化特征[J].新疆气象,1998,21(2):9—12.

[10] 杨云良,阎顺,贾宝全,等.艾比湖流域生态环境演变与人类活动关系初探[J].生态学杂志,1996,15(6):43—49.

[11] 杨顺德,塞迪克夫.亚洲中部水资源研究[M].北京:科学技术文献出版社,1992.

(下转第 11 页)

Carbonate Content in the Core DG<sup>03</sup> of Lake Gahai  
and its Paleoenvironmental Significance

CHEN Zhong<sup>1</sup>, MA Hai-zhou<sup>1</sup>, CAO Guang-chao<sup>1,2</sup>, ZHANG Xi-ying<sup>1</sup>, ZHOU Du-jun<sup>1</sup>, YAO Yuan<sup>3</sup>,  
TAN Hong-bing<sup>1</sup>, HAN Feng-qing<sup>1</sup>  
(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;  
2. College of Life and Geography Science, Qinghai Normal University, Xining, 810008, China,  
3. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, China)

**Abstract**: Carbonate content determined from the sediment core DG<sup>03</sup> depicts climate and environmental evolution in the Lake Gahai area since the late Deglacial period. The core provides evidence of a warm period and then a cold-dry period before Holocene based on the analysis of carbonate content, loss-on-ignition (LOI) and lithology. The two periods correspond with the Alleröd period and the Younger Dryas period. In the early Holocene, the climate was unstable with a warming trend. The mid-Holocene was warm and humid in the early period, while cold and dry in the late period. The late-Holocene was also dry with lower temperatures in the early period and a warming trend in the period just before the Little Ice Age (LIA). Carbonate content identifies the density of the lake water and its variation also connects with the environmental changes reflected by sediment lithology. The layer composed of silt and medium particle sand which was deposited by eolation, was found to be very low in carbonate content as well as fine sand layer.

**Key words**: Carbonate content; Lake Gahai; Loss-on-ignition (LOI); Late Deglaciation; Holocene

(上接第 5 页)

Study on the Causes and Impacts of Water-salt Change of Ebinur Lake

CHEN Zhi-jun  
(Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Xinjiang Bortala  
Mongol Autonomous Prefecture, Bole, 833400, China)

**Abstract**: Based on the relationship between the Lake and its drainage basin, a series of the changes of hydrological factors, such as the lake area and salinity of the Ebinur Lake in recent 50 years, are analyzed using correlation analysis, and the causes resulting in such changes are researched in this paper. The results show that the self-regulation capability of the lake is weak because of the effects of geographical and hydrological factors in the systems of water resources in the drainage basin; the water carrying capacity of the drainage basin and the inflow of the lake are continuously reduced due to the increase of human activities and evaporation, thus the salinity of the lake is increased. Moreover, the trend and impacts of water-salt change of the Ebinur Lake are also discussed.

**Key words**: Change of area; Salinity; Correlation analysis; Ebinur Lake