

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОЧНОГО ЛИМАНА И ДИНАМИКА ЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

С.В. Винокурова, В.А. Демченко

### GENERAL CHARACTERISTICS OF MOLOCHNYI LIMAN AND DYNAMICS OF ITS HYDROLOGICAL REGIME

S.V. Vinokurova, V.A. Demchenko

Молочный лиман (рис. 1) сформировался во второй половине четвертичного периода благодаря очередной трансгрессии Черного моря и затоплению приустьевой части долины р. Молочной. Сначала лиман имел вид залива (эстуария), но примерно к XV ст. образовалась аккумулятивная песчано-ракушечная пересыпь, которая почти полностью отделила его от моря. С того времени лиман начал функционировать в полузакрытом режиме, пока пересыпь не замкнулась полностью. К началу XIX века лиман приобрел черты соленого озера (Черничко и др., 2000).

Лиман имеет вытянутую с севера на юг форму, несколько расширяется на юг: наибольшая длина лимана - 36 км, ширина южной половины достигает 10 км. Площадь водного зеркала лимана изменчива. Берега лимана асимметричны (правый высокий, иногда обрывистый, а левый пологий), так как они являются продолжением склонов речной долины. В рельефе левого берега хорошо обнаружены три, а на правом - по геологическим данным, обнаружена четвертая, а также пятая-шестая надпойменные террасы (Атлас Запорожской области, 1997). Характерными формами берегового рельефа в пределах лимана являются аккумулятивные образования (пересыпи, косы, пляжи, острова, сложенные песчано-ракушечными, а местами и илистыми отложениями) и абразии (береговые обрывы, волнообразные ниши, клифы и марши).

В настоящее время Молочный лиман относится к типу полузакрытых водоемов. Он отделен от Азовского моря песчано-ракушечниковой косой, но через естественные или искусственные протоки лиман периодически соединяется с морем. Существование водного обмена в значительной степени определяет экологическое состояние лимана.

Основными факторами, определяющими режим солености в Молочном лимане, является приток из Азовского моря менее соленых вод и поступление пресноводного стока из рек Молочная и Ташченак. Течения и волнения вызывают перемешивание различных по солености вод и в определенной степени сглаживают характеристики минерализации воды всего водоема.

Анализируя многолетнюю динамику солености, следует отметить два различных по уровню солености состояния лимана. Для одного из них характерно колебания солености в пределах 15-30 г/л (открытое или полуоткрытое состояние лимана), для второго - выше 30 г/л (закрытое состояние лимана) (рис. 2).

Molochnyi Liman was formed in the second half of the Quaternary, as a result of one of the Black Sea transgressions and flooding of the Molochna river valley in its estuarial zone (Figure 1). First looking like an estuarial bay, by the 15th century it had accumulated a sand-shell spit which completely isolated it from the sea. Since that, the liman had been functioning as a half-closed reservoir until the spit totally separated it from the sea. By the early 20th century Molochnyi Liman had gained all characteristics of a salt lake (Chernichko et al., 2000).

The liman elongates north to south, being slightly wider in the south direction. The maximal length is 36 km; maximal width of the southern part is 10 km. The water area is dynamic. The shores originate from and continue banks of the river valley and are therefore asymmetric: the western (right) shore is high and at places precipitous, the eastern (left) shore is gentle. On the eastern shore there are well pronounced three floodplain terraces, and geological survey indicate the existence of the forth, fifth and sixth floodplain terraces on the western shore (Atlas of Zaporizhzhia Region, 1997). Typical relief of the liman shores are represented by accumulative formations (spits, beaches, islands built of sand-shell or sometimes of muddy deposits) and abrasions (shore precipices, wavy niches, cliffs and marshes).

Currently, Molochnyi Liman is a half-closed body of water. The sand-shell spit isolated it from the Sea of Azov, though occasional connection is supported through natural or artificial channels. This water exchange has a great impact on the liman's ecology.

Major factors determining salinity of Molochnyi Liman are entrance of less salty Azov Sea waters and freshwater runoff from the rivers Molochna and Tashchenak. Currents and roughness mix waters of different salinity and more or less equalize mineralization over the water body.

Analysing long-term salinity dynamics we should note two different salinity states of Molochnyi Liman. The first state or period of salinity ranges 15 to 30 g/l (open or half-closed liman), the second - above 30 g/l (closed liman) (Figure 2).

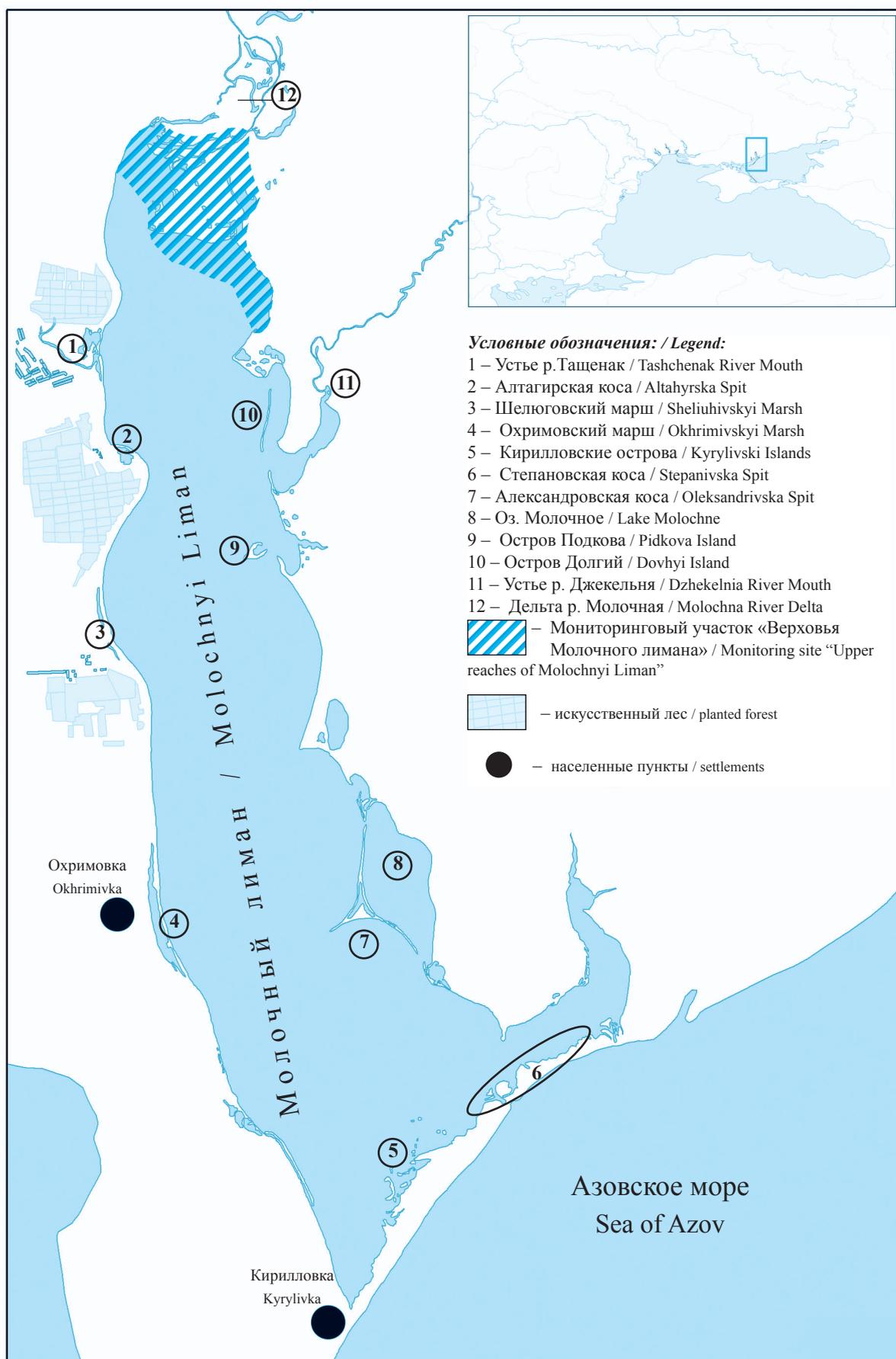


Рис. 1. Картосхема Молочного лимана и его мониторинговых участков.

Fig. 1. Skeleton map of Molochnyi Liman and its monitoring sites.

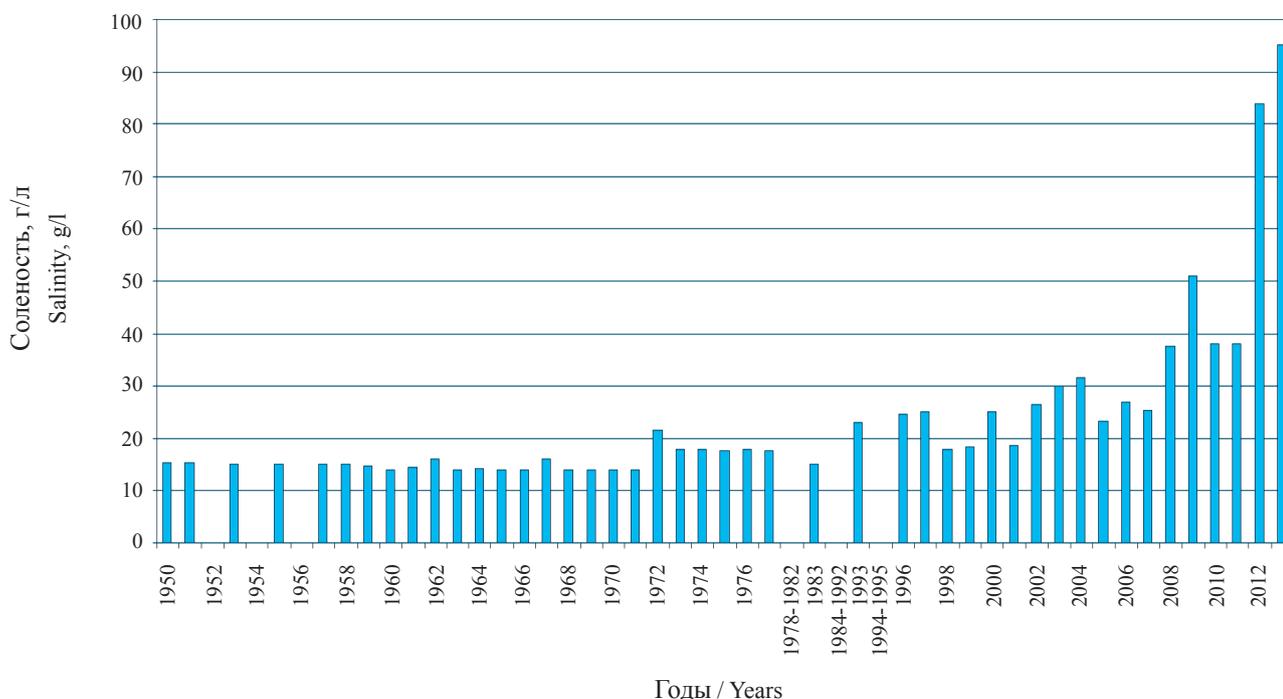


Рис. 2. Многолетняя динамика солености в Молочном лимане.

Fig.2. Long-term salinity dynamics in Molochnyi Liman.

Анализируя динамику площади акватории Молочного лимана, мы рассматриваем водную поверхность в пределах всего водно-болотного угодья (включая прилегающие Молочное озеро, устьевой залив р. Джекежня и Александровский залив)

В период оптимального поддержания гидрологической связи между лиманом и Азовским морем, вплоть до 2005 года площадь акватории была относительно стабильной. Она имела незначительные сезонные колебания, зависела от силы и направления преобладающих ветров, но в целом ее величина находилась в пределах 22 тыс. га (рис. 3). Ухудшение связи лимана с морем в начале нынешнего столетия значительно повлияло на площадь водного зеркала и аккумулятивных образований.

Анализ спутниковых снимков (Landsat, мультиспектральные, с разрешением 30 м) за 2003-2013 гг. показал, существенные колебания водного тела с тенденцией к сокращению (табл. 1, рис. 3) из-за отсутствия постоянной связи с морем и недостаточного объема речного стока и осадков.

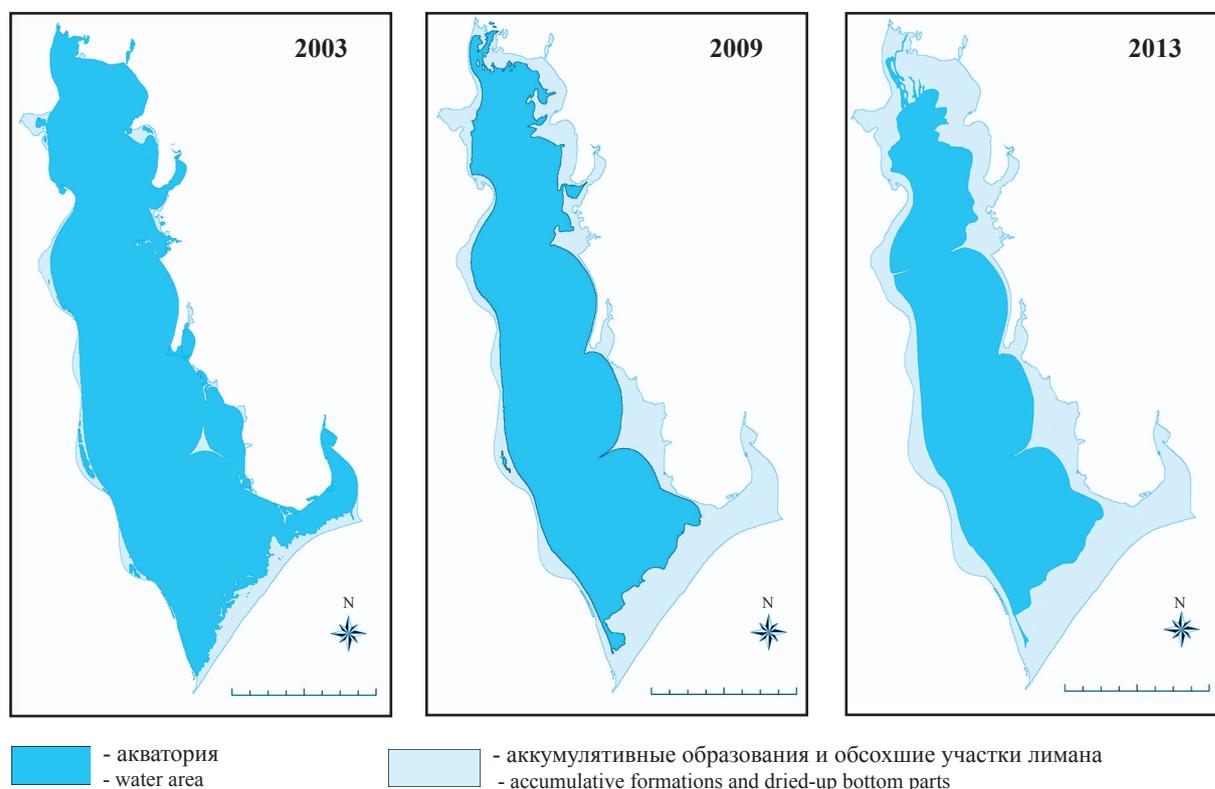
Объем воды в лимане, как и площадь мелководий мы рассчитывали на основе цифровой модели рельефа Молочного лимана, построенной нами с использованием программы ArcGIS (Demchenko et al., 2015). Приведенные цифры могут иметь некоторую погрешность, связанную как с возможными неточностями при проведении измерений, так и с недостаточным высоким разрешением используемых спутниковых снимков. Мы оцениваем возможную погрешность в пределах 3-5%.

As for dynamics of the area of Molochnyi Liman we analyze the size of water surface within the whole territory of this water body (including adjacent Lake Molochne, an estuarial bay of the Dzhekelnia River and Oleksandrivskyi Bay).

Prior to 2005, in the period of optimal hydrological liman/sea connection, the water surface had area remained relatively stable. There were insignificant seasonal fluctuations, which had been dependent on the force and direction of prevailing winds, but generally remained within 22,000 ha (Figure 3). Loss of the liman/sea connection in the early 21st century significantly contracted the size of water surface and accumulated formations.

Analysis of satellite images (Landsat, multispectral, 30 m resolution) for the 2003-2013 period showed pronounced fluctuation of the water area with a shrinking trend (Table 1, Figure 3). The main causes for this are the absence of a steady connection with the sea, the insufficient volume of river runoff and too little precipitation amounts.

The water volume in the liman and the size of shallows were calculated using an ArcGIS digital relief model of Molochnyi Liman (Demchenko et al., 2015). We expect 3-5% calculation error due to possible inaccuracies of measurements or insufficient resolution of satellite images.



**Рис. 3.** Динамика акватории Молочного лимана в период 2003-2013 гг.

**Fig. 3.** Dynamics of the Molochnyi Liman's water area during 2003-2013.

**Таблица 1.** Динамика основных гидрологических характеристик Молочного лимана в период 2003-2013 гг.\*

**Table 1.** Dynamics of major hydrological characteristics of Molochnyi Liman during 2003-2013\*.

Характеристика Characteristic	Годы / Years										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Площадь акватории, га Water surface area, ha	21269	21955,7	21945	21720,1	20256,7	17971,5	16442	19845	18894	16723	14229
Площадь аккумулятивных образований и осушенных участков дна, га Surface area of accumulative formations and dried-up bottom parts, ha	2859	2172,3	2183	2407,9	3871,3	6156,5	7686	4283	5234	7405	9899
Максимальная глубина лимана, м Maximal liman depth, m	2,8	?	2,8	?	?	?	1,78	2,17	1,94	1,8	1,22
Объем воды, млн. м <sup>3</sup> Water volume mln m <sup>3</sup>	369,6	?	370	?	?	?	180,5	244,5	204,0	180,9	86,8

**Примечание:** \* данные приводятся по состоянию на август каждого года; ? – данных нет.

**Notes:** \* data are given for August of each year; ? – data are not available.

Как видно из таблицы, процесс обмеления лимана не был непрерывным, в 2010-2011 гг. за счет частичных восстановительных работ и благоприятных погодных условий (годовая сумма осадков в 2010 году превысила среднегодовую почти в 2 раза) площадь акватории незначительно увеличилась.

Анализ изменений объема воды за последние годы показал, что из-за отсутствия соединения с Азовским морем к 2013 году лиман потерял более 282 млн. м<sup>3</sup>, то есть около  $\frac{3}{4}$  от объема в условиях максимального заполнения.

At it is evident from the table, the process of the liman shallowing was not continuous. In 2010-2011, restoration works and favourable weather conditions (in 2010, the annual precipitation sum almost twice exceeded the average long-term indices) resulted in a slight increase in the water area.

Analysis of the recent dynamics showed that the terminated liman/sea connection has led to a loss of over 282 mln m<sup>3</sup> of the liman's water, i.e., approximately  $\frac{3}{4}$  of its maximal possible volume.



Закономерно, что с понижением уровня воды в лимане увеличивается площадь аккумулятивных образований. Плавный переход от аккумулятивных образований к обнаженному дну лимана при его усыхании усложняет анализ динамики их площадей. Поэтому мы рассматриваем эти две категории в совокупности – как обсохшие (сухие) участки лимана.

Наибольшие площади высохших территорий наблюдаются вдоль левого берега, а также верховой и низовой лимана (1100-1300 м от края до максимального уреза воды), и вдоль пересыпи (800-1200 м). Это связано с более высоким гипсометрическим положением дна в этих участках.

Снижение уровня воды и обнажение участков дна лимана способствовало также соединению островов Подкова и Долгий и полуостровов с коренным берегом и их вовлечению в общую площадь побережья лимана. Дальнейшее снижение уровня привело к появлению новых островов в верховьях лимана за счет возвышенных участков дна (рис. 4), которых на следующей стадии сокращения акватории постигла та же участь.

A decrease in the liman's water level naturally entails an increase in the surface area of accumulative formations. The gradual nature of the transition of accumulative formations to the bottom of the liman complicates the analysis of their surface area dynamics; as a result, we have considered them together as dried-up (dry) areas of the liman.

The largest dried-up areas were observed along the low eastern coast and in the upper and lower reaches of the liman (1,100-1,300 m from the border of maximum water's edge), and along Peresyp Spit (800-2,100 m). This is explained by the higher hypsometrical location of the liman bottom.

A decrease in water level, which exposed areas of the liman bottom, also connected Pidkova Island and Dovhyi Island with the coast and added them to the overall area of the liman coastline. Further decrease resulted in formation of new islands in the upper liman from elevated bottom areas (Figure 4). On the next stage of shallowing they also joined to the coastline.

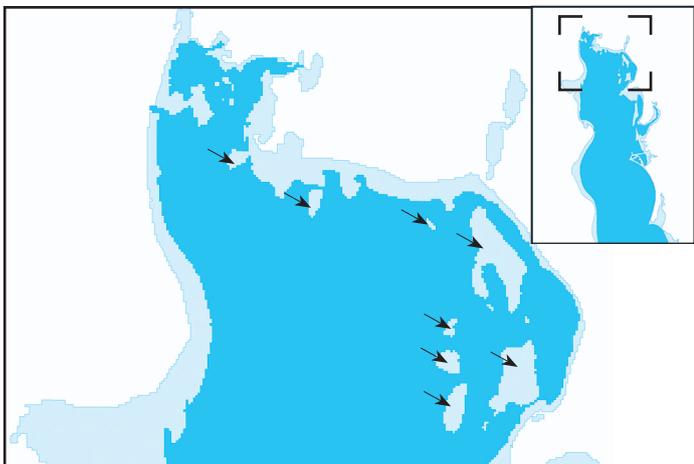


Рис. 4. Формирование новых островов в верховьях лимана.

Fig. 4. Development of new islands in the liman's upper reaches.

Таблица 2. Динамика площади мелководий.

Table 2. Dynamics of shallow areas.

Площадь мелководий, га Shallow areas, ha	Годы / Years						
	2003	2005	2009	2010	2011	2012	2013
0-20 см/cm	113,9	140,2	600	1001	2767	1019	1729,1
20-40 см/cm	79,2	85,53	988	2352	663	818	1500
Итого / Total	193,1	225,73	1588	3353	3430	1837	3229,1
% мелководий (до 40 см) от общей площади водоема % of shallow areas (up to 40) cm of the total surface area of the liman	0,9	1,02	9,65	16,9	18,15	11	22,7

Для описания состояния видового состава и размещения птиц в ретроспективе выделены два периода (этапа) гидрологических условий Молочного лимана:

**1943-2003 гг.** – стабильного существования гидрологической связи Молочного лимана с

To give a retrospective review of species composition and distribution of birds the hydrological conditions of the Molochnyi Liman are conditionally divided into **two periods**.

**1943-2003** – stable hydrological liman/sea connection. Characterized by relatively stable salinity of 15-25 g/l;

Азовским морем. Для этого периода характерны относительно стабильные показатели солености в пределах 15-25 г/л, высокий уровень воды, наличие островов Подкова и Долгий, Александровская коса. Следует отметить относительно высокие показатели рыбопродуктивности и продуктивности зообентоса, интенсивное развитие макрофитов.

**2004-2009 и 2012-2013 гг.** – отсутствие связи с Азовским морем, сокращение площади акватории и увеличение солености лимана, вплоть до 104 г/л в отдельных частях лимана. Для этих периодов характерны низкие показатели рыбопродуктивности, а при длительной изоляции и полная потеря всех видов рыб. Происходят кардинальные изменения структуры зообентоса и зоопланктона. В условиях повышения солености выше 50-60 г/л в этих сообществах доминантами становятся артемия и личинки хирономид. В условиях снижения уровня воды наблюдается соединение островов с побережьем. Одновременно образуются новые острова, мелководья, мысы пригодные для гнездования. В 2010-2011 гг. нами отмечено временное увеличение водности лимана и снижение солености воды в нем до уровня 30-40 г/л. Данный период был кратковременным и связан с расчисткой канала. Работы по расчистке проводились не регулярно, что не смогло существенно повлиять на гидролого-гидрохимические показатели лимана. В эти годы в лимане наблюдается заход молоди рыб (*Liza haematocheilus*, *Platichthys luscus*, *Zosterisessor ophiocephalus*), которые после закрытия лимана погибают или выходят в период штормовых явлений из лимана. Кратковременные периоды понижения солености лимана также не способствуют восстановлению сообществ зообентоса и макрофитов. В 2014 году начался новый период соединения лимана с морем, последствия которого для экосистемы лимана еще неизвестны и находятся на стадии мониторинга.

Вышеизложенные гидрологические характеристики несомненно сказались на численности, видовом составе и особенностях размещения птиц на Молочном лимане, особенно рыбадных и бентосоядных, что отражено с отдельных разделах Бюллетеня.

#### Литература к разделу:

- Атлас Запорізької області. – Київ: Укргеодезкартографія. - 1997. - 48с
- Черничко И.И., Сиохин В.Д., Кошелев А.И., Дядичева Е.А., Кирикова Т.А. Молочный лиман // Численность и размещение гнездящихся околоводных птиц в водно-болотных угодьях Азово-Черноморского региона Украины / Под общ. ред. В.Д. Сиохина. – Мелитополь-Киев: Бранта, 2000. – С. 339-372.
- Demchenko V.O., Vinokurova S.V., Chernichko I.I., Vorovka V.P. Hydrological regime of Molochnyi Liman under anthropogenic and natural drivers as a basis for management decision-making // Environmental science & policy. – №46. – 2015. – P. 37-47.

high water level; islands Pidkova and Dovhyi as well as Oleksandrivska Spit still exist. Relatively high productivity of fish and zoobenthos, intensive development of macrophytes should be also noted.

**2004-2009 and 2012-2013** – terminated liman/sea connection; shrinkage of the water area; increase of salinity up to 104 g/l in some liman's parts. Low fish productivity, even complete loss of all fish species in case of prolonged isolation. Cardinal changes in the structure of zoobenthos and zooplankton. With the salinity exceeding 50-60 g/l these communities are dominated by artemia and chironomidae larvae. Lowering water level connects islands with the coast. At the same time new islands, shallows and capes suitable for bird nesting are formed. In 2010-2011 we observed a temporary increase in the water content of the liman and consequent decrease in salinity to 30-40 g/l, caused by a short-term period of the liman/sea channel dredging. However, dredging activity was irregular and didn't provide any sufficient impact on hydrological and hydrochemical properties of the liman. In that period it was observed penetration of fish fry into the liman (*Liza haematocheilus*, *Platichthys luscus*, *Zosterisessor ophiocephalus*). When the liman closes they die or left it with storm waters. Short-term periods of reduced salinity do not either contribute to restoration of zoobenthos and macrophytes communities. The year 2014 started a new period of the liman/sea connection which consequences for the liman ecosystem are still unclear and need to be monitored.

The above-mentioned hydrological characteristics of the liman undoubtedly had their impact on the number, species composition and distribution of birds at Molochnyi Liman, especially those fish- and benthos-eating as described in other chapters of the Bulletin.

#### References to Chapter:

- Atlas of Zaporizhzhia Region. – Kyiv: "Ukrgeodezkartografia" Press. – 1997. – 48 p. [in Ukrainian]
- Chernichko I.I., Siokhin V.D., Koshelev A.I., Diadicheva E.A., Kirikova T.A. Molochnyi Liman // Numbers and distribution of breeding waterbirds in the wetlands of the Azov-Black Sea Region of Ukraine / Ed. by V.D.Siokhin. – Melitopol-Kyiv: Branta, 2000. – P. 339-372. [in Russian]
- Demchenko V.O., Vinokurova S.V., Chernichko I.I., Vorovka V.P. Hydrological regime of Molochnyi Liman under anthropogenic and natural drivers as a basis for management decision-making // Environmental science & policy. – №46. – 2015. – P. 37-47.