

УДК 504.454:504.062(477.7)

П. С. Вержбицкий¹, ст. преп., **А. А. Стоян²**, инж.-исслед., **Л. В. Гыжко²**, асп.
Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,
¹кафедра инженерной геологии и гидрогеологии;
²кафедра физической географии и природопользования
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

ИЗУЧЕНИЕ СОЛЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЛИМАНА БУРНАС ОСЕНЬЮ 2007 Г.

Отсутствие постоянной системы наблюдений за соленостью поверхностных вод лиманов Северо-Западного Причерноморья не позволяет, с одной стороны, осуществлять палеогеографические реконструкции, а с другой — давать рекомендации по хозяйственному использованию этих водоемов. Приведены результаты изучения распределения значений солености в поверхностном и придонном слоях воды лимана Бурнас осенью 2007 г., рассчитаны характеристики центра положения и рассеяния эмпирического распределения. Высказаны рекомендации по методике отбора проб воды в условиях высокой солености.

Ключевые слова: море, измерения, лиман, вода, соленость, акватория, дно.

Введение

Лиман Бурнас расположен в пределах приморской части междуречья Дунай-Днестр и входит в состав Тузловской группы лиманов (Шатаны—Алибей—Бурнас), которые образовались в результате затопления морем и последующего отчленения от него устьевых частей рек песчано-ракушечными пересыпями в результате волнового распределения наносов в береговой зоне моря. Гидрологическая связь с Черным морем осуществляется через прорвы, периодически (1—2 раза в год) образующиеся с морской стороны во время штормов редкой повторяемости. Регулярных наблюдений за гидрохимическим состоянием лимана Бурнас не велось, а имеющиеся в литературе сведения о солености и составе вод имеют отрывочный характер. Приводимые значения солености, согласно различным источникам [1, 2, 3, 4, 8], в разные годы варьируют от 20,000‰ до 140,000‰. По химическому составу воду относят либо к сульфатно-натриевому подтипу сульфатного типа [4] либо к хлоридно-натриевому типу [7]. Питание лимана водой осуществляется в основном за счет притока морских вод через прорвы. Речной сток незначительный, в силу малого годового расхода впадающей в Бурнас р. Алкалия — в среднем 0,13 л/с [7]. Роль притока подземных (грунтовых) вод и инфильтрации через пересыпь оценивается некоторыми исследователями как ничтожно малая в силу особенностей залегания илистых донных отложений [4]. По мнению авторов, роль инфильтрации морской воды через пересыпь не столь мала, о чем свидетельствуют приведенные ниже результаты изучения распределения значений солености по акватории лимана Бурнас. Как видим, практическое и теоретическое значение статьи несомненно.

Актуальность исследований

Практически всеми исследователями лиманов северо-западного Причерноморья отмечается отсутствие постоянной системы наблюдений за соленостью

поверхностных вод этих водоемов. Это не дает возможности при изучении природной среды в полной мере применять метод актуализма, что позволяет делать лишь приблизительные палеогеографические реконструкции. Отсутствие информации о цикличности изменений в природной среде (в том числе о колебаниях значений солёности) не позволяет делать достаточно точные и реальные прогнозы относительно развития природных объектов под воздействием естественных и антропогенных факторов. В качестве примера можно назвать неудачную попытку превращения лимана Сасык в пресноводное водохранилище.

Лиман Бурнас в течение сотен лет использовался для нагула молоди рыб ценных промысловых видов, в том числе кефали. В случае отсутствия прорыв, через которые рыба приходит в лиман весной и уходит из него осенью, они создавались и закрывались искусственно. Резкое уменьшение объема воды в ложе лимана летом 2007 г., значительное повышение солёности, дефицит кислорода в воде привели к замору, в результате которого, по свидетельствам местных жителей, произошла массовая гибель глоссы. Постоянная система наблюдений за водами лимана Бурнас позволит выявить оптимальные значения солёности, при которых возникают наиболее благоприятные условия для нагула, выращивания и, возможно, нереста ценных видов промысловых морских рыб. Это, в свою очередь, позволит давать рекомендации по срокам создания и закрытия искусственных прорыв в теле пересыпи в случае отсутствия естественной связи с морем. Следовательно, тема статьи является актуальной.

Солёность воды оказывает значительное влияние на выживаемость икры, спермы и личинок рыб. Например, для осетровых рыб Каспия было выявлено, что при значениях солёности, превышающих 10‰ происходит гибель личинок осетра и севрюги четырехдневного возраста [6]. Весьма ценным хозяйственным рекреационным ресурсом лимана являются лечебные грязи — 3214 тыс. м³ [4], изучение которых должно проводиться в комплексе с изучением солёности воды. Попытки опреснения лиманов северо-западного Причерноморья могут привести к деградации этого ресурса. Исходя из изложенного, мы утверждаем важное теоретическое и практическое значение работы.

Материалы и методы исследований

Исследование солёности поверхностных вод акватории лимана Бурнас проводилось в ходе экспедиции под руководством проф. Г. В. Выхованец в сентябре 2007 г. (рис. 1) Особенностью исследований в 2007 г. являлось то, что они проводились после жаркого, засушливого лета с малым количеством осадков. Прорывов пересыпи в 2007 г. зафиксировано не было. Дефицит увлажнения и интенсивное испарение привело к значительному уменьшению площади водного зеркала, понижению его уровня и, как результат, к повышению минерализации воды. Для выявления особенностей распространения солёности в плане и по глубине были составлены: схематическая карта глубин, карты распределения солёности в придонном и поверхностном слоях воды, построены графики распределения значений солёности, проведен корреляционно-регрессионный анализ.

В ходе исследования производился отбор проб воды для определения солёности в поверхностном и придонном слоях с помощью батометра-бутылки емкостью 1 литр типа БВО-02 (груз ГР-15). Всего было отобрано 32 пробы воды из поверхностного и придонного слоев воды на 16 станциях пробоотбора (рис. 2).

Кроме того, 1 проба воды была взята на урезе из открытой выработки (закопущки) с лиманной стороны пересыпи (станция № 15). Отбор проб батометром-бутылкой в грузе ГР-15 в воде с высокой соленостью вызвал определенные трудности, о причинах которых будет сказано ниже. Определение солености производилось в лабораторных условиях путем замеров плотности ареометром АОН-2 ГОСТ 184-81 20eC кг/м³ № 2 (пределы измерений 1,000-1,080) с последующим введением поправки на температуру исследуемой воды. Выбор данного типа ареометра связан со значительной соленостью воды. Для удаления из проб взвешенных частиц предварительно производилось фильтрование воды через среднепористый фильтр в фильтровальном приборе Куприна ГР-60. На схеме рис. 3 представлено общее расположение точек опробования.



Рис. 1. Схема географического положения лимана Бурнас (отмечено черным четырехугольником и показано черной стрелкой) на побережье Черного моря

Анализ результатов исследований

Согласно литературным источникам максимальная глубина составляет 1,6 м [4]. Максимальная глубина, измеренная при данном уровне воды в лимане, составила 1м. Наиболее глубокая часть с (от 0,50 до 1 м) вытянута вдоль осевой части лимана в направлении с севера на юг, при этом общая картина изобат имеет веретенообразную форму. В южной части происходит изменение ориентировки оси ложа лимана в юго-западном направлении, что связано, по-видимому, гидрологической связью с лиманом Куродиол, куда происходит сгон воды во время действия ветров северных румбов.

В пределах акватории соленость изменяется в пределах от 67,991 до 73,486‰ в придонном слое воды и от 68,631 до 71,316‰ в поверхностном, как показано на рис. 3 и 4. В общем, плотность точек может обеспечить достоверную картину распределения значений солености.

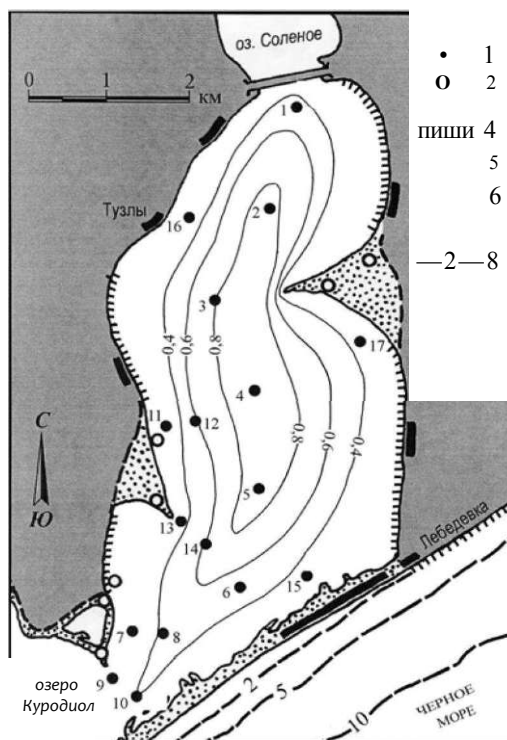


Рис. 2. Схематическая карта глубин лимана Бурнас (сентябрь 2007 г.)

1 — станции опробования воды и дна; 2 — точки ручного бурения; 3 — береговые стационарные участки по наблюдению за динамикой клифов; 4 — активные клифы; 5 — отмершие клифы; 6 — алеврито-ракушечные косы; 7 — изобаты лимана, м; 8 — изобаты моря, м

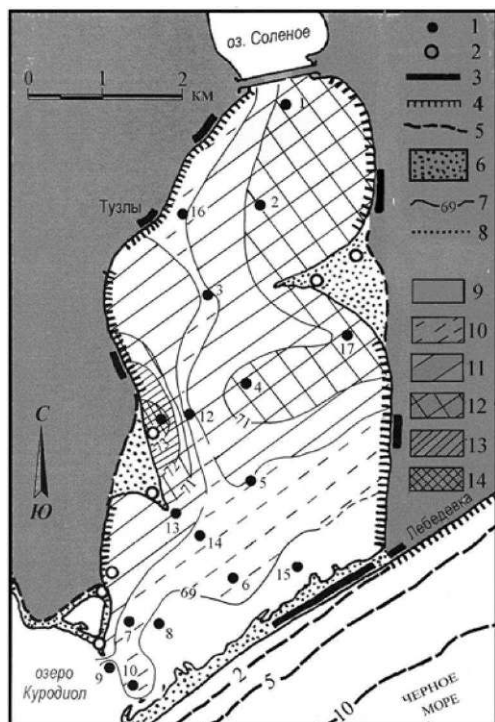


Рис. 3. Схематическая карта солёности в придонном слое лимана Бурнас (сентябрь 2007 г.)

1 — станции опробования воды и дна; 2 — точки ручного бурения; 3 — береговые стационарные участки по наблюдению за динамикой клифов; 4 — активные клифы; 5 — отмершие клифы; 6 — алеврито-ракушечные косы; 7 — изолинии солёности, ‰; 8 — изобаты моря, м; солёность ‰: 9 - <69; 10 - 69-70; 12 - 71-72; 13 - 72-73; 14 - >73

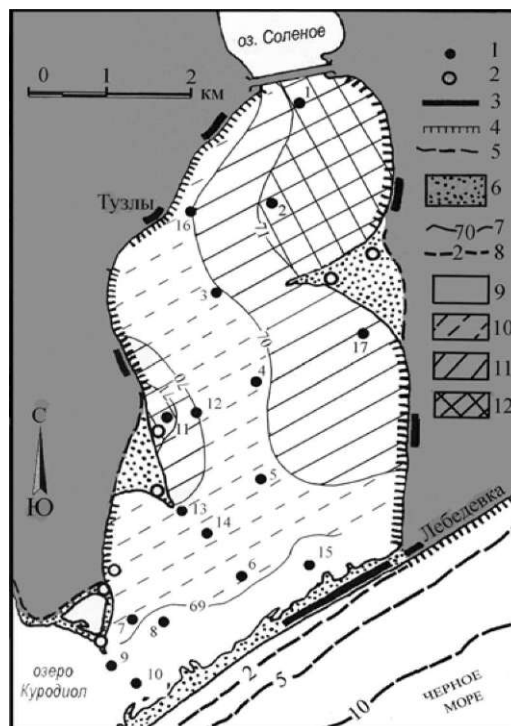


Рис. 4. Схематическая карта солёности в поверхностном слое воды лимана Бурнас (сентябрь 2007 г.):

1 — станции опробования воды и дна; 2 — точки ручного бурения; 3 — береговые стационарные участки по наблюдению за динамикой клифов; 4 — активные клифы; 5 — отмершие клифы; 6 — алеврито-ракушечные косы; 7 — изолинии солёности, ‰; 8 — изобаты моря; солёность, ‰: 9 - < 69; 10 - 69-70; 11 - 70-71; 12 - >71

Аналитическая обработка полученных данных показала, что распределение значений солёности в придонном слое (рис. 5 а) имеет мономодальный характер (модальный интервал 69,091—70,189‰). При расчете характеристик положения центра эмпирического распределения получены значения: $8_{Me} = 69,911‰$, $8_{cp} = 70,286‰$. С учетом того, что среднее значение асимметрично расположено относительно медианного, атажненаходитсявнепределовмодального интервала, в качестве наиболее характерного значения солёности в придонном слое нами было принято $8_{Me} — 69,911‰$. Изменчивость значений придонной солёности в плане характеризуется постепенным ее снижением с севера на юг и от берегов к центру лимана. Максимальные значения найдены к северу от западной косы (станция № 11) — 73,486‰, а также к северу и югу от восточной косы, где они достигают 71,189-71,827‰.

В южной части лимана, параллельно пересыпи, существует широкая зона с наиболее низкими значениями солёности — менее 69‰. Ее существование обусловлено, по-видимому, гидрогеологической связью лимана с Черным морем, в результате которой происходит фильтрация менее соленой морской воды сквозь песчано-ракушечную пересыпь в акваторию лимана Бурнас. Для проверки этого предположения на пересыпи с лиманной стороны была отобрана проба

Изучение солёности поверхностных вод лимана Бурше осенью 2007г.

воды на урзе из открытой выработки (закопушки) (см. станцию № 15). Величина солёности этой воды составила 53,835‰ — весьма значительная величина. По нашему мнению, она даёт фактическое основание предполагать наличие подземного перетока менее солёной морской воды ($B \sim 15\text{‰}$) в лиман с последующим ее перемешиванием с более солёной лиманной.

Распределение значений солёности в поверхностном слое (рис. 5, б) имеет полимодальный характер с тремя модальными интервалами (68,631—69,168‰; 69,706—70,244‰; 70,782—71,320‰). Учитывая характер распределения, средние и медианные значения были рассчитаны как для всей совокупности в целом, так и для каждого модального интервала отдельно (табл. 1).

Таблица 1

Солёность воды в поверхностном слое (8_п) Характеристики положения и рассеяния эмпирического распределения

Модальный интервал, ‰	Средн. рифм., (Бср), ‰	Медиана (БМе), ‰	Стандартное отклонение, X
От 68,631 до 69,168	68,855	68,823	0,218
От 69,706 до 70,244	69,911	69,911	0,000
От 70,782 до 71,320	71,231	71,189	0,073

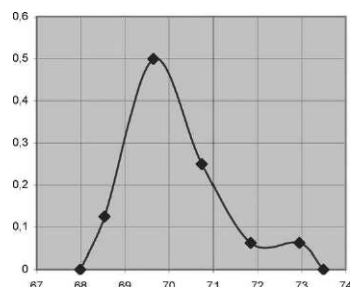
При расчете статистических характеристик средних значений солёности в поверхностном слое по несгруппированным данным (без учета модальности) получены результаты $8_{ср} = 69,919 \text{‰}$, $8_{Ме} = 69,911 \text{‰}$, $X = 0,829$.

В плане для воды поверхностного слоя изменчивость значений солёности характеризуется ее снижением в направлении с севера на юг и от берегов к центру лимана. Максимальные значения зафиксированы возле западной косы — 71,316‰ (станция № 11) и в северо-восточной части лимана — 71,189‰ (станции № 1, 2), а минимальные — в юго-западной части в месте впадения в лиман Куродиол — менее 69‰ (станции № 8, 9, 10). Наличие трех модальных интервалов, полученных в результате статистической обработки результатов, в целом согласуется с наличием хорошо выдержанных в плане зон с различной солёностью. В южной части лимана вдоль пересыпи значения солёности составляют менее 69‰.

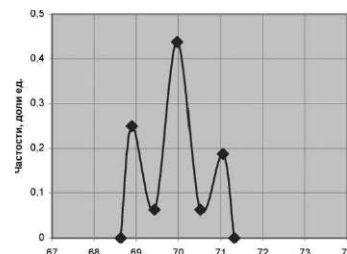
Для проверки наличия связи между значениями солёности в придонном и поверхностном слоях воды был построен график зависимости солёности в поверхностном слое воды ($8_{п}$) от солёности в придонном слое ($8_{д}$): $8_{п} = f(8_{д})$ (рис. 6), который выявил прямую корреляционную зависимость с достаточно высоким коэффициентом корреляции $Y = 0,824$. Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$B_{п} = 0,5308 \cdot 8_{д} + 32,608.$$

На восьми из шестнадцати станциях пробоотбора выявлена стратификация солёности (50%), причем в шести случаях солёность в придонном слое выше, чем в поверхностном, а на двух (станции № 8, 14) — ниже. Это явление весьма и весьма необычно для такого мелководного водоема. В связи с тем, что статистической связи между солёностью и глубиной выявлено не было, а площадное распределение градиентов солёности по направлению «дно—поверхность» имеет очень сложный характер, в качестве характеристики стратификации была выбрана разность между солёностью в придонном и поверхностном слоях $ДБ = (Зд - 8_{п})$.



а



б

Рис. 5. Графики распределения значений солёности: *а* — в придонном слое; *б* — в поверхностном слое

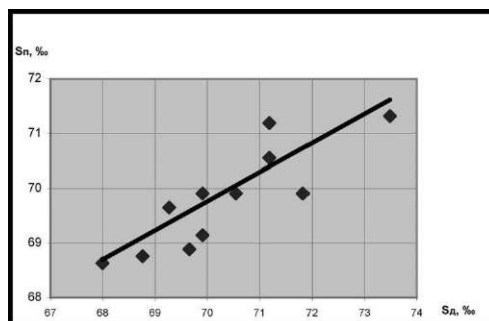


Рис. 6. График зависимости солёности в поверхностном слое (B_p) от солёности в придонном слое (B_d) $\delta_p = f(\delta_d)$

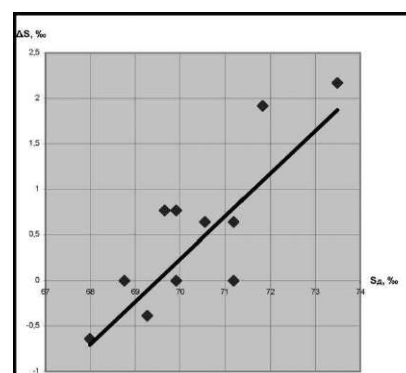


Рис. 7. График зависимости разности между солёностью в придонном и поверхностном слоях ($ДБ = (B_d - B_p)$) от солёности в придонном слое $ДБ = f(B_d)$

График зависимости $ДБ = f(\delta_d)$ (рис. 7) выявил прямую корреляционную зависимость между этими показателями. Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$ДБ = 0,4692 \cdot \delta_d - 32,608.$$

Коэффициент корреляции составляет $r = 0,792$, значит между показателями существует значимо достоверная связь. В природных условиях, в самом деле, на фоне похожих поверхностных значений солёности и закономерных более высоких значениях придонной солёности (создающей повышенную плотность) должна соответственно меняться разность $\delta_d - \delta_p$. В общем полученное уравнение может служить для расчетов разности $ДБ$ по известной δ_d .

Анализ значений стратификации показал что, как правило, при значениях $B_d < 69,911\text{‰}$ солёность в придонном слое меньше, чем в поверхностном, при $\delta_d > 69,911\text{‰}$ значения δ_d и δ_p равны, а при $\delta_d > 69,911\text{‰}$ солёность в придон-

ном слое больше, чем в поверхностном. На основании полученных результатов авторами сделан вывод: значение солёности $B = 69,911\text{‰}$ является наиболее характерным для лимана Бурнас в природных условиях лета 2007 г. при данном уровне воды (глубине) и характеризует состояние динамического равновесия в водно-солевой системе «Бд—8_г».

Обращает на себя внимание равенство (по абсолютной величине) свободного члена в уравнениях регрессии $ДБ = / (8_d)$ и $8_{п} = / (8_d) - 32,608\text{‰}$. Физический смысл этой величины неясен, однако, можно предположить, что она отражает равновесное состояние в водно-солевой системе «Бд—Б_г» лимана Бурнас при ином положении уровня воды или других условиях гидрологической связи с Чёрным морем (наличие притока морской воды через прорвы) и, соответственно, иной солёности. Не исключено, что значение свободного члена в уравнении регрессии контролируется величиной минерализации поровых вод верхнего слоя донных осадков. Данный вопрос требует дополнительного изучения в процессе дальнейших исследований.

Выводы

1. Средние значения солёности поверхностных вод лимана Бурнас летом 2007 г. составили:

- в придонном слое $69,911\text{‰}$ (размах вариации от $67,991$ - $73,486\text{‰}$);
- в поверхностном слое $69,911\text{‰}$ (размах вариации от $68,631$ - $71,316\text{‰}$).

2. Как для поверхностной, так и для придонной воды наблюдается закономерное снижение солёности в направлении с севера на юг и от берегов к осевой части лимана.

3. Зоны с повышенной солёностью ($>71\text{‰}$) формируются с северной стороны западной и восточной кос.

4. В южной части лимана, параллельно пересыпи, существует зона с наименьшими значениями солёности. Ее существование предположительно связано с инфильтрацией менее солёной морской воды через пересыпь и перемешиванием с более солёной лиманной.

5. Распределение значений солёности в поверхностном слое имеет полимодальный характер, что согласуется с наличием широких, хорошо выдержанных в плане зон с различной солёностью.

6. Выявлены прямые корреляционные зависимости между:

- солёностью в придонном слое и солёностью в поверхностном слое;
- солёностью в придонном слое и разностью значений солёности в придонном и поверхностном слоях.

7. Батометр-бутылка в грузе ГР-15 ёмкостью 1 л, предназначенный для отбора проб воды с максимальной солёностью 35 — 37‰ , оказался малоприспособленным для отбора проб воды солёностью 67 — 73‰ , т. к. в воде столь высокой плотности он не тонет. В процессе работы батометр приходилось притапливать рукой. Для работ в подобных условиях следует применять батометр-бутылку на штанге.

Литература

1. Бабинец А. Е., Сухоребров А. А. О гидрохимических особенностях донных отложений лиманов Северо-Западного Причерноморья // Гбол. журнал. — 1981. — Т. 41. — № 2. — С. 104—111.

2. Бурксер Е. С. Солоні озера та лимани України: гідрохімічний нарис // Тр. Фіз-мат. відділу Всеукр. акад. наук. - 1928. - Т. 7. - Вип. 1. - 341 с.
3. Гассаген Х. Результаты химического исследования морских, озерных, лиманных вод и грязей Новороссийского края. — Одесса: Нитче, 1852. — 53 с.
4. Геология шельфа УССР. Лиманы / И. И. Молодых, В. П. Усенко, Н. Н. Палатная и др. — К.: Наукова думка, 1984. - 176 с.
5. Михайлеску К.Д. Происхождение лиманов дельты Дуная. — Кишинев: Штиинца, 1990. — 162 с.
6. Дробкина Б. М. Влияние воды различной солености на икру, сперму и личинки осетра и севрюги // Тезисы докл. научной сессии, поев, исслед. Каспия, берегов морей и океанов. — Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1963. - С. 143-144.
7. Ротарь М. Ф., Лиходедова О. Г. Пестициды в геологической среде и некоторые последствия их применения в Украине. — Одесса: Инвац, 2007. — 170 с.
8. Стахорская Н. И. Зоопланктон соляных лиманов и лагун северо-западной части Черного моря. Рукопись: Автореф. дис... на соиск. канд. биол. наук. — Одесса, 1970. — 22 с.

П. С. Вержбицкий¹, А. А. Стоян², Л. В. Гыжко²

Одесский национальный университет имени 1.1. Мечникова,

¹ кафедра инженерной геологии и гидрогеологии

² кафедра физической географии и природокористування

65082, Украина, Одесса, вул. Дворянская, 2

ВИВЧЕННЯ СОЛОНОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЛИМАНУ БУРНАС ВОСЕНИ 2007 Р.

Резюме

Постійна система спостережень за солоністю лиманів північно-західного Причорномор'я дасть змогу робити палеогеографічні реконструкції та надавати рекомендації щодо господарчого використання цих водойм. Виявлено розподіл значень солоності по акваторії лиману, встановлено залежності між показниками солоності в придонному та поверхневому шарах води. Надано рекомендації щодо застосування обладнання для відбору води високої солоності.

Ключові слова: море, вимірювання, лиман, вода, солоність, акваторія, дно.

P. S. Verbitskiy¹, A. A. Stoyan², L. V. Gyzhko²

National Mechnikovs University of Odessa,

¹Engineering Geology Dept.,

²Physical Geography Dept.,

2, Dvoryanskaya St., Odessa-82, 65082, Ukraine

SALINITY RESEARCH OF SURFACE WATER IN BURNAS-LIMAN IN AUTUMN 2007

Summary

In September 2007 scientific group of Odessa University provided researches on Burnas Liman within Limanic type of the Black Sea coast. During sturying activity were sampled 16 water stations, according to survey of 1:50000 scale. In result of the research and investigation, distribution of average, bottom horizon and surface horizon of water salinity were discover. After very hot summer the salinity of limanic water was high, up to 73,5 , and during former years its were 25-40.

Keywords: sea, mesurements, liman, water, salinity, aquathory, bottom.