

# ОПЫТ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПОСТАНОВКИ ПРОЗРАЧНОМЕРА ИП-1 НА МОРСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ СТАНЦИИ

*В.И. Маньковский, Е.В. Маньковская,  
М.Н. Пеньков*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net

*В статье приводятся результаты длительной эксплуатации прозрачномера ИП-1 на морской прибрежной станции и данные обработки измерений прозрачности воды.*

**Введение.** Для измерений прозрачности воды в океанологии широко используются специальные фотометры, называемые прозрачномерами. Эти приборы измеряют показатель ослабления направленного света, который связан с прозрачностью воды, определяемой как коэффициент пропускания света слоем воды толщиной в один метр, в обратной логарифмической пропорции.

В прозрачномерах, предназначенных для длительных постановок в море, серьезной проблемой, влияющей на результаты измерений, является загрязнение иллюминаторов. Оно происходит за счет налипания на поверхности иллюминаторов частичек морской взвеси, а также из-за обрастания иллюминаторов водорослями.

Испытывались различные методы очистки иллюминаторов от загрязнений: механическая очистка с применением дворников автомобильного типа, ультразвуковое облучение иллюминаторов, гидравлическая очистка струей воды высокого давления и др. Из всех методов лишь гидравлическая очистка, примененная в приборе [1], позволяла сохранять иллюминаторы в первоначальной чистоте.

Измерять прозрачность воды можно и не очищая иллюминаторы, если использовать метод переменной базы. При этом показатель ослабления света не зависит от коэффициентов пропускания иллюминаторов и определяется по формуле

$$\varepsilon = \lg(V_1 / V_2) / (L_1 - L_2), \quad (1)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – напряжения на выходе прибора при длинах оптических баз  $L_1$  и  $L_2$  соответственно. В качестве примера ис-

пользования такого метода можно привести прозрачномер, описанный в работе [2].

При изготовлении прозрачномера для морской прибрежной станции не имелось возможности применить метод очистки иллюминаторов струей воды высокого давления, насыщенного воздухом, так как он, кроме соответствующего оборудования, требует применения дорогостоящих сапфировых стекол, поверхность которых не подвержена эрозии. Эффективность очистки достигается за счет кавитации пузырьков воздуха.

Также из-за технологических сложностей, связанных с изготовлением механизма перемещения светоотражателя, надежно работающего в морской среде длительное время, не было возможности сделать для морской станции прозрачномер с переменной базой.

Для испытаний на морской станции был установлен двухбазовый прозрачномер ИП-1 [3]. В прозрачномере измеряется ослабление светового луча на двух фиксированных базах, что позволяет не вводить поправку на просветление иллюминаторов в воде, то есть градуировка прибора, сделанная на воздухе, может быть использована при измерениях в воде. Длина баз в ИП-1 составляет:  $L_1 = 200$  мм,  $L_2 = 20$  мм. Измерения показателя ослабления света водой ведутся в двух спектральных участках на длинах волн 468 и 625 нм. Диапазон измерений составляет 0,01–1,0 м<sup>-1</sup> (lg), погрешность – 10 %.

**Цель испытаний.** Целью постановки ИП-1 в составе морской станции являлось испытание его работоспособности при длительном нахождении в морской среде. Кроме того, предполагалось проверить предположение о возможно одинаковой во времени степени загрязнения иллюминаторов в длинной и короткой базах прибора. Одинаковое снижение коэффициента пропускания света у иллюминаторов не должно сказываться на результатах измерений. Это видно из следующего.

Величина сигналов  $V_1$  и  $V_2$  на выходе прозрачномера при измерениях ослабления света в длинной и короткой базах пропорциональна коэффициентам пропускания  $T_1$  и  $T_2$  иллюминаторов в этих базах:  $V_1 = k_1 T_1$ ,  $V_2 = k_2 T_2$ , где  $k_1$  и  $k_2$  – аппаратные коэффициенты преобразования свето-

вых потоков. С учетом этого формулу (1) можно записать в виде

$$\varepsilon = \lg(k_1 T_1 / k_2 T_2) / (L_1 - L_2). \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что при постоянстве отношения  $T_1 / T_2$  величина показателя ослабления света не будет изменяться.

**Методика испытаний.** Прозрачномер устанавливался на станции в горизонтальном положении. Погружение станции происходило с океанографической платформы МГИ (пос. Кацивели) на глубину 10 м. В августе и сентябре 2009 г. на погруженной в море станции было проведено три серии измерений прозрачности воды длительностью 9, 12 и 13 суток. Измерения выполнялись с дискретностью одна секунда.

При осмотрах прозрачномера во время подъема станции фиксировалось наличие на иллюминаторах загрязнений и прикрепившихся водорослей. Производилась очистка иллюминаторов. Перед очередным погружением прозрачномера батометром отбирались пробы воды, в которых проводились измерения показателя ослабления света лабораторным прозрачномером [4]. Данные лабораторных измерений сравнивались с

показаниями прозрачномера ИП-1 и использовались для корректировки градуировочных коэффициентов, если отмечалось их изменение.

#### Результаты испытаний.

**Влияние дневного света.** В первых сериях измерений было зафиксировано влияние дневного света на показания прозрачномера. Оно особенно сильно проявлялось в солнечные дни и выражалось в снижении значений показателя ослабления в полуденные часы (рисунки 1 и 2).

Данный эффект объясняется попаданием в поле зрения приемного объектива солнечного света, рассеянного на частицах взвеси, находящейся в базе прозрачномера. Как видно из рисунков, для красного света эффект снижения показателя ослабления заметно меньше по сравнению с синим светом. Это связано с тем, что показатель вертикального ослабления солнечного света в красной области спектра значительно больше, чем в синей области, вследствие чего красные лучи солнца сильнее ослабляются с глубиной и вызывают меньшее рассеяние света на частицах взвеси по сравнению с синими лучами.

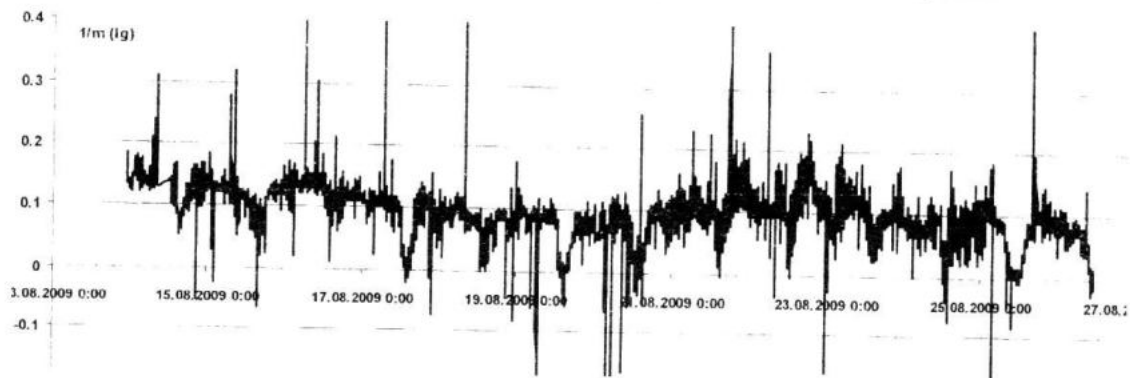


Рисунок 1 – Регистрация показателя ослабления света на  $\lambda = 468$  нм без экранирования

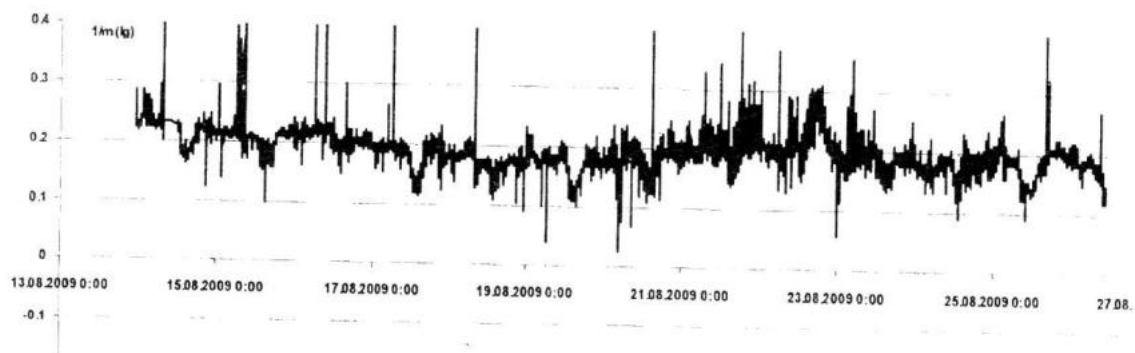


Рисунок 2 – Регистрация показателя ослабления света на  $\lambda = 625$  нм без экранирования

Для устранения влияния солнечного света на результаты измерений на прозрачном измерителе был установлен цилиндрический экран, защищавший базу от дневно-

го света и допускаявший свободную циркуляцию воды.

Результаты регистрации с экранировкой приведены на рисунках 3 и 4.

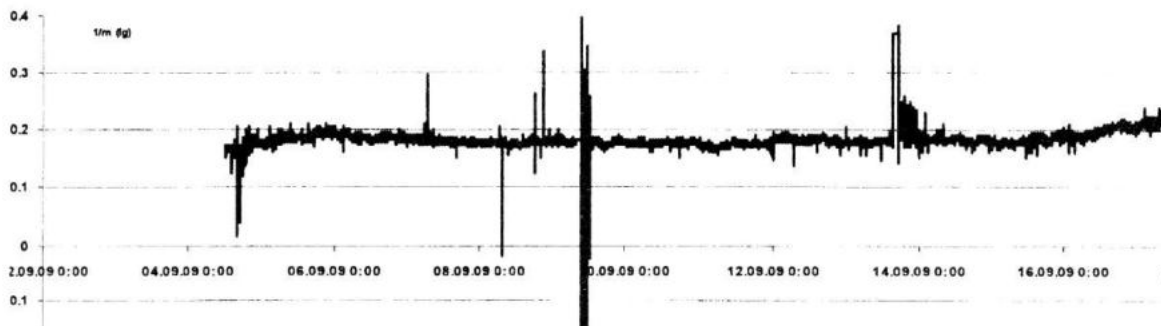


Рисунок 3 – Регистрация показателя ослабления на  $\lambda = 468$  нм с экранировкой

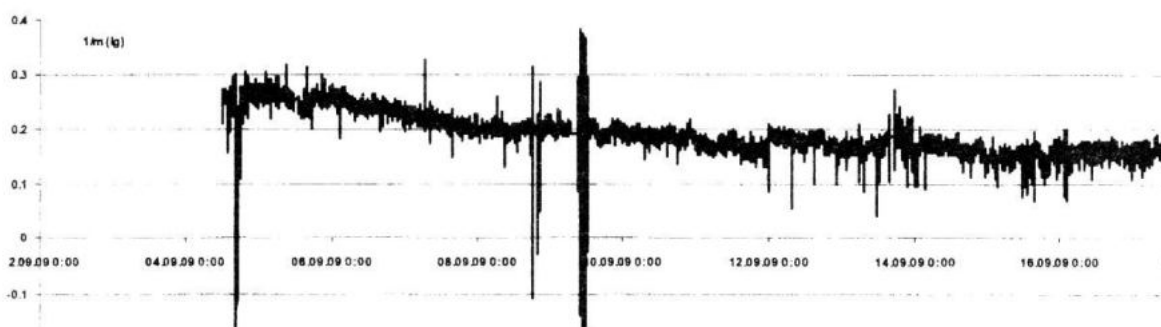


Рисунок 4 – Регистрация показателя ослабления на  $\lambda = 625$  нм с экранировкой

*Загрязнение иллюминаторов.* Во время профилактических осмотров каждый раз наблюдалось загрязнение иллюминаторов в виде осевших на них частичек взвеси и бактериальной пленки. В одном случае был обнаружен балянус размером около 3 мм, прикрепившийся на краю иллюминатора в длинной базе.

Анализ серии измерений прибором ИП-1 в период с 4 по 17 сентября при сравнении с результатами лабораторных измерений в пробах воды показал, что загрязнение иллюминаторов в длинной и короткой базах происходит не одинаково, вследствие чего искажаются результаты измерений.

По лабораторным измерениям в пробах воды, взятых 4 и 7 сентября, показатели ослабления света возросли: в синем участке спектра с  $0,17 \text{ м}^{-1}$  до  $0,23 \text{ м}^{-1}$ , в красном участке – с  $0,26 \text{ м}^{-1}$  до  $0,33 \text{ м}^{-1}$ . В то же время, за этот период по данным ИП-1 (рис. 3 и 4), в синем участке спектра показатель ослаб-

ления вырос с  $0,17 \text{ м}^{-1}$  до  $0,18 \text{ м}^{-1}$ , в красном участке снизился – с  $0,26 \text{ м}^{-1}$  до  $0,22 \text{ м}^{-1}$ .

Разницу во временной изменчивости показателя ослабления в красном и синем участках спектра можно объяснить тем, что световые лучи в этих спектральных каналах проходят через иллюминаторы не в одних и тех же местах, а несколько смещены, т.е., в данном случае, сказалось неравномерное распределение загрязнений по поверхности иллюминаторов.

Согласно формуле (2), значительное снижение значений показателя ослабления в синем участке спектра свидетельствует о более сильном снижении во времени коэффициента пропускания  $T_1$  иллюминаторов в длинной базе по сравнению с коэффициентом пропускания  $T_2$  иллюминаторов в короткой базе. В красном участке спектра такие относительные изменения в загрязнениях иллюминаторов происходили в другом направлении, причем гораздо слабее.

*Дискретность измерений.* В алгоритме измерений прибором ИП-1 заложена дискретность измерений в одну секунду. Такая дискретность дает чрезвычайно большой объем избыточной информации, не соответствующей временным масштабам изменения прозрачности воды. Анализ длительных рядов измерений показателя ослабления показал, что изменения показателя ослабления происходят гораздо медленнее и для целей мониторинга достаточно будет дискретность измерений порядка 10 минут. Это позволит также значительно увеличить ресурс работы прибора.

*Расчеты характеристик морской среды.* По измерениям показателя ослабления направленного света в пробах воды, проводившихся во время испытаний прозрачномера ИП-1, были рассчитаны характеристики состояния морской среды по методике работы [5]. На рисунках 5 – 7 показан временной ход характеристик морской среды: показателя ослабления света в двух участках спектра, содержания в воде взвеси, хлорофилла и желтого вещества. На рисунке 8 представлены спектральные распределения показателя ослабления света в диапазоне длин волн 416 – 677 нм, восстановленные методом ортогональных функций по измерениям в двух участках спектра.

**Заключение.** Анализ результатов длительной эксплуатации прозрачномера ИП-1 на морской прибрежной станции показал следующее.

1. В трех циклах погружения в море, длительностью 9, 12 и 13 суток в каждом, фотоэлектронная схема измерений прозрачности воды работала без сбоев. Однако градуировочные коэффициенты фотометрической схемы иногда приходилось корректировать по результатам измерений показателя ослабления в пробах воды лабораторным прозрачномером. Возможной причиной изменения градуировочных коэффициентов могла быть недостаточная очистка иллюминаторов при профилактике прозрачномера.

2. На показания прозрачномера оказывал влияние солнечный свет, приводивший к снижению величин показателя ослабле-

ния, особенно сильному в полуденные часы. Влияние солнечного света было устранено путем экранирования прибора.

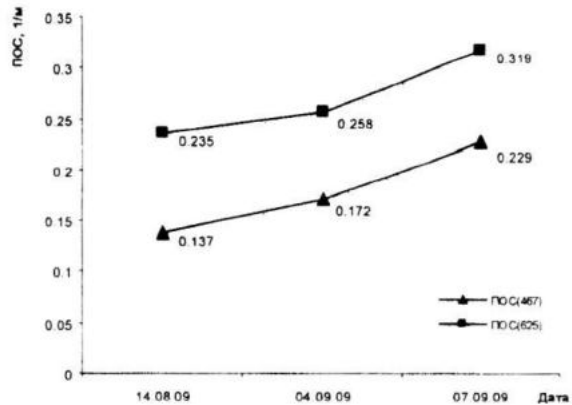


Рисунок 5 – Временной ход показателя ослабления света (ПОС)

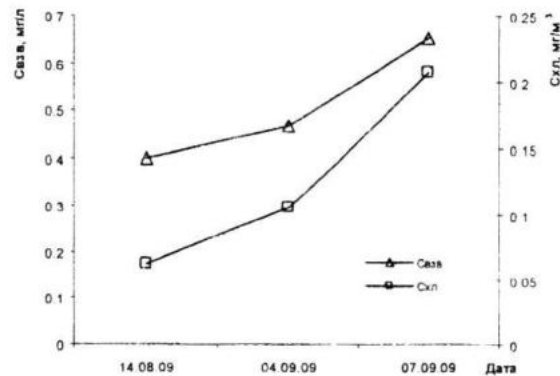


Рисунок 6 – Временной ход содержания взвеси (Свзв) и хлорофилла (Схл)

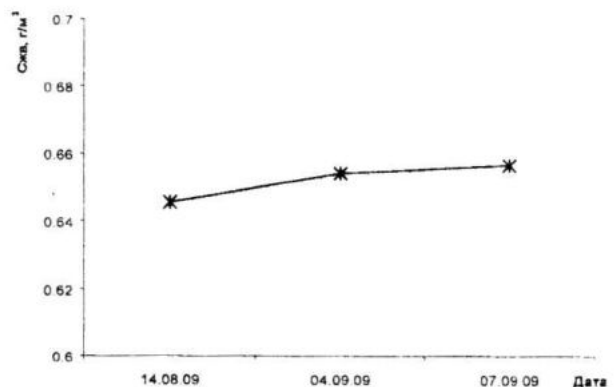


Рисунок 7 – Временной ход содержания жёлтого вещества (Сжв)

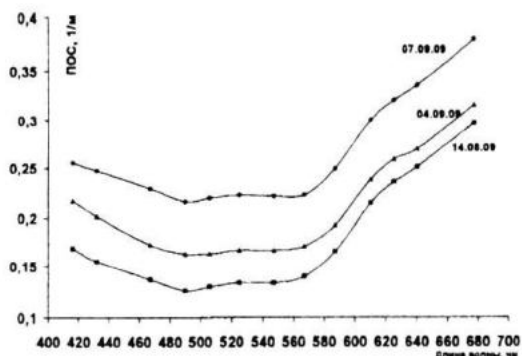


Рисунок 8 – Спектры показателя ослабления (восстановленные)

3. Отсутствие в прозрачном устройстве по периодической очистке иллюминаторов приводило к сильному их загрязнению. Предположение о возможно одинаковом загрязнении иллюминаторов в длинной и короткой базах прозрачногомера не оправдалось. Степень их загрязнения была разной, что приводило к искажению абсолютных величин показателя ослабления света и их временной изменчивости.

4. Заложённая в алгоритм работы прозрачногомера частота измерений показателя ослабления один раз в секунду является чрезвычайно высокой и не соответствует реальным временным масштабам изменения прозрачности воды, составляющем десятки минут и более.

Общий вывод по результатам испытаний состоит в следующем. Для получения качественных данных о величинах показателя ослабления направленного света при длительных постановках прозрачногомера ИП-1 на морской прибрежной станции следует доработать его конструкцию в части обеспечения сохранения чистоты иллюминаторов.

Предлагается в дальнейшем испытать метод очистки иллюминаторов ультразвуком с помощью установки около них соответствующих излучателей. Такой метод использовался в прозрачномерах и показал неплохие результаты. Для выявления наилучшего эффекта, получаемого при ультразвуковой очистке, предлагается провести испытания с излучателями разной частоты.

## Литература

1. Transmissometer Spectro::lyser. Firm S::SCAN. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.s-can.at/index.php?id=19>
2. Barth H., Reuter R., Stute U.. A polychromatic in situ transmissometer for measurements of suspended particles and yellow substance in water // Proceedings of International Conference «Ocean Optics XIII» (22-25 October 1996, Halifax, Canada) / Eds. S.G. Ackleson, R. Frouin. – Proc. SPIE 2963, 1997. – Volume 2963. – P. 622–629.
3. Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В. и др. Морская прибрежная станция БРИЗ-1 // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 9–23.
4. Маньковский В. И., Кайгородов М.Н. Лабораторный автоколлимационный прозрачномер с переменной базой // Автоматизация научных исследований морей и океанов. 5-я всесоюзная школа. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1980. – С. 91–92.
5. Маньковский В.И., Маньковская Е.В. Использование биооптических связей для определения характеристик состояния морской среды при проведении оптического мониторинга вод Черного моря с применением прозрачномеров // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – № 2. – С.37–45.