

# МЕТОД УПРОЩЕННОЙ ОЦЕНКИ ЗАИЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ ГРУНТОВ

Ю.Д. Смирнова

Карадагский природный заповедник  
НАН Украины.  
г. Феодосия, п. Курортное, ул. Науки, 24  
E-mail: karadag@ukrpost.ua

В статье приводятся результаты применения упрощенного метода оценки экологического состояния морских донных биотопов по показателям: концентрации ила, скорости оседания иловой взвеси и изменения биохимического поглощения кислорода (БПК). Установлено, что небольшие концентрации ила могут иметь высокую активность БПК, а некоторые илы больших концентраций не влияют на содержание кислорода в воде.

**Введение.** В настоящее время одной из серьезных экологических проблем Черного моря является интенсивно увеличивающееся заиливание донных грунтов даже на небольших глубинах. Ю.М. Бекман в 1938 – 1939 гг., исследуя донную фауну Черного моря у Карадага, так характеризовал типы донных грунтов: фазеолиновый ил – глубины 57 – 90 м, мидиевый ил – глубины 21 – 70 м, ракушечник – глубины 14 – 32 м, чистый крупный песок и гравий – 3 – 20 м, мелкий слегка заиленный песок – 4 – 17 м. Причем, тогда этот слегка заиленный песок встречался в акватории Карадага только пятнами у устья речек и в Коктебельской бухте [1]. В 50-х годах на глубинах 20 – 30 м вдоль Кавказского и Крымского побережья еще проходил мощный ракушечный пояс, главными представителями которого были мидии, мидиолы, морской гребешок и единичные устрицы. Виноградова З.А. определяла ракушечную мидию как типичную *Mytilus galloprovincialis* Lam., в отличие от скаловой – *Mytilus galloprovincialis v. trepida* и иловой – *Mytilus frequens* Mil., и говорила об огромных запасах ракушечной мидии [2]. Бесконтрольный траловый лов конца прошлого века, возросшее антропогенное воздействие на море и экспансия хищного моллюска-вселенца рапаны *Rapana venosa* вызвали заиливание и практическое уничтожение раку-

шечного пояса [3]. В 2007 – 2008 гг. мы обнаруживали в пробах с глубин 20 – 30 м только створки крупных моллюсков (мидий, устриц, иногда гребешков), значительное количество ила, деградацию сохранившихся популяций мелких моллюсков и большое количество рапан [4].

В последние годы, при обработке проб грунта взятых аквалангистами,ами обнаружено заиление дна узкой прибрежной зоны акватории заповедника даже на глубинах 8 – 10 м и на придонных поверхностях скал [5]. Донный грунт на этих глубинах состоит из песка, мелкого гравия, гальки в той или иной мере насыщенных илом. Анализ состава донных сообществ моллюсков показал ежегодное сокращение их количества, снижение количества видов, гибель ювенильных особей [4]. Обычно для характеристики донных осадков применяется гранулометрический метод, достаточно трудоемкий и малоинформационный (даже при определении органического углерода) для оценки экологического состояния конкретного биотопа [6, 7]. В прибрежной зоне моря, где донные экосистемы развивалась на чистых грунтах, появление заиления может иметь определяющее значение для существования донных организмов, особенно моллюсков – биофильтров. Представляется, что важными показателями влияния заиленности на состояние биоты являются: концентрация ила, скорость оседания иловой взвеси и способность ила поглощать кислород, т.е. создавать гипоксию. Мы разработали упрощенный метод количественной характеристики заилености грунта и оценки его влияния на экологическое состояние биотопа [8]. Задачей настоящего исследования было изучение характеристик заиливания грунтов предложенным методом в разных биотопах акватории Карадага.

**Материалы и методы.** В течение 2008 – 2012 гг. с помощью аквалангистов отбирались пробы грунта в нескольких биотопах узкой прибрежной зоны акватории Карадага: в Коктебельской бухте, у мыса Мальчин, в Сердоликовой бухте, у скалы Золотые ворота, у скалы Иван-разбойник, в бухте Биостанции и под заброшенной мидийной плантацией. Для сравнения были взяты про-

бы грунта на Золотом пляже в Феодосийском заливе (район гостиницы «Юрая») на глубине 6 м и в Опукском заповеднике на глубине 5 м. Ил выделяли методом многократной декантации 100 г пробы в 100 мл морской воды, время экспозиции для оседания минеральных частиц 8 – 10 с. Определенный объем полученной взвеси выпаривали для выяснения концентрации ила. Результат пересчитывали на 100 г грунта, вычитая вес солей, содержащихся в морской воде. Исследовали устойчивость созданной илом мутности воды по скорости нарастания коэффициента пропускания на фотозелектрокалориметре (ФЭК) КФК – 2МП при определенной длине волны. Обычно измерения проводили при длинах волн 440 или 590 нм, для них мы отметили наибольшую скорость увеличения прозрачности [8]. Даже мелкодисперсные минеральные частицы (алевриты, лесы) оседают на дно кюветы в течение 5-10 мин. Коллоиды органического вещества, глин и сопутствующие им бактерии, микроводоросли

оседают медленно и скорость нарастания коэффициента пропускания вероятно обратно пропорциональна концентрации их в иле. Это позволяет также представить, как долго после шторма (для глубин менее 8 – 10 м) или донного трапления взмученный ил будет снижать прозрачность воды данного биотопа. Определяли так же БПК<sub>5</sub> по общепринятым методикам при добавлении в воду 1 мл иловой взвеси из разных биотопов [9].

**Результаты и обсуждение.** На рис. 1 представлена кинетика изменения коэффициента пропускания света для иловых взвесей из донных грунтов разных биотопов заповедника, взятых в 2008 – 2009 гг. Концентрация ила в смыте от восточной стороны скалы Золотые ворота (З.в. в.ст.) была 1,52 г/100 г грунта, из грунта с 6 м глубины Золотого пляжа (Зол.пл.) составляла 1,04 г/100 г, с западной стороны скалы Золотые ворота (З.в.з.ст.) – 2,8 г/100 г. Мы видим, что прозрачность для «Зол.пл.» и «З.в. в.ст.» уже в начале измерения превышает 60 % и через 40 – 60 мин достигает 84 %.

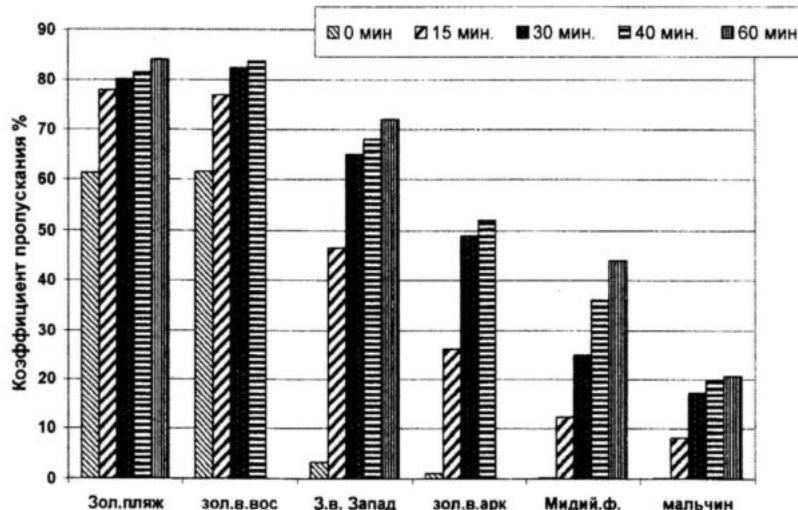


Рис. 1. Кинетика нарастания прозрачности иловых взвесей с разной концентрацией ила при измерении на длине волны 440 нм (столбцы слева направо в каждом биотопе соответствуют изменениям прозрачности через 0, 15, 30, 40 и 60 мин)

Иловая взвесь из биотопа «З.в.з.ст» вначале имеет коэффициент пропускания 3,2 %, однако, через полчаса – уже больше 60 % и через час прозрачность равна 72 %. Наибольшее количество ила мы обнаружили у мыса Мальчин (8,56 г на 100 г грунта), под аркой скалы Золотые ворота (7,24 г/100 г) и под заброшенной мидийной фермой (7,2 г /100 г). Мидийные плантации размещены у за-

падной границы заповедника над бывшим ракушечным поясом [2] в километре от берега. Искусственная плантация для выращивания мидий создавалась более 20 лет назад. Заиление дна произошло, вероятно, как за счет общих процессов заиления ракушечного пояса на глубинах 20 – 25 м в 70 – 80 гг. прошлого столетия, так и за счет осадков от мидий, плотность поселения которых в

несколько раз выше, чем в естественных популяциях. Район мыса Мальчин испытывает максимальное воздействие трансформированных хозяйствственно-бытовых вод от п. Коктебель. В грунте под аркой скалы Золотые ворота ила содержалось почти столько же, как и у границ заповедника. Однако начальная (в момент отсчета) прозрачность была выше у суспензии ила от Золотых ворот – 6 % (Мальчин – 0,134 %; ферма – 0,193 %) и через 40 мин коэффициент пропускания достигал 52 %, т.е. в грунте из-под арки достаточно велика доля минеральных фракций оседающих относительно быстро. Возможно это смывы грунта с берега Пограничной бухты. В иловой взвеси от мыса Мальчин через 40 мин фиксировалось только 20 % прозрачности и через 60 мин – 22%, а в иле от мидийной плантации – 36 % и 44 % соответственно. Таким об-

разом, по скорости нарастания прозрачности мы можем судить о составе ила, наличия в нем быстро и медленно оседающих фракций. Мы наблюдаем разную скорость оседания ила из-под арки скалы Золотые ворота и ила с мидийной фермы при одинаковой практически концентрации илов. Следовательно, ил от арки содержит больше минеральных легко оседающих включений, а на мидийной ферме в иле больше коллоидных органических фракций. Еще больше, вероятно, их в иле от мыса Мальчин. На рис. 2. представлены данные по кинетике изменения коэффициента пропускания иловых взвесей в течение длительного времени: до 20 часов и более. Интересно было оценить характер оседания ила в зависимости от разных его концентраций и природы его образования. Для сравнения мы сделали 8 % взвесь

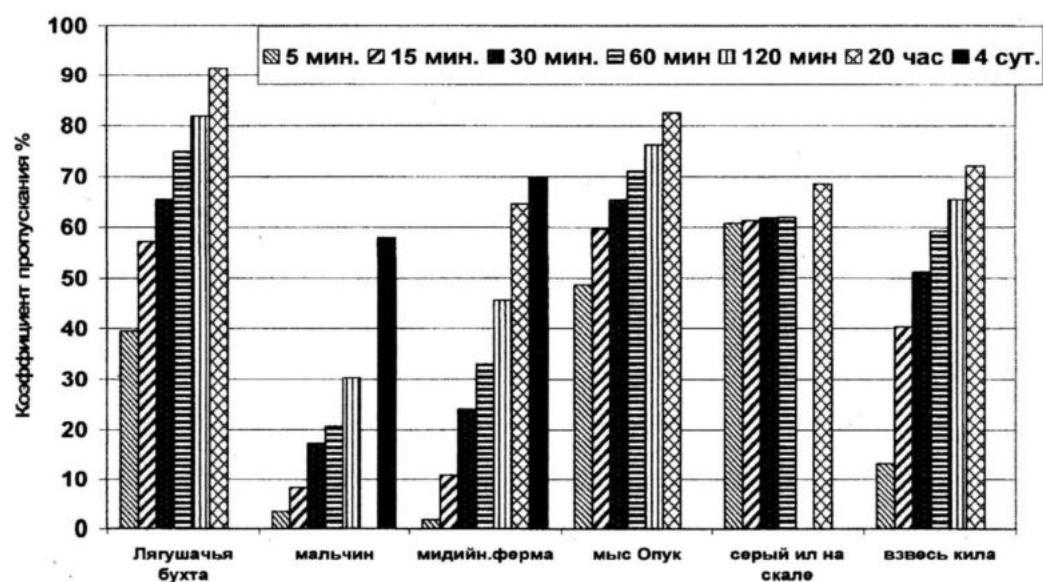


Рис. 2. Кинетика осветления иловых взвесей (по увеличению % коэффициента пропускания при длине волны 440 нм) из донных грунтов разных биотопов

(8 г в 100 мл морской воды) голубой карадагской глины (кила). Концентрация ила в грунте из Лягушачьей бухты (глубина 7 м) составляла 0,64 г на 100 г грунта, у мыса Опук – 1,2 г/100 г, в северном налете иловой взвеси, взятой на глубине 6 м с поверхности скалы Золотые ворота – 0,1 г/100 мл. Через полчаса пробы с малой концентрацией ила (Лягушачья бухта, м. Опук) имели прозрачность более 65 %, через час – более 70 %. Интересно, что имея высокую концентрацию взвесь кила осветляется через

полчаса на 51 % и через час – почти до 69 %. Следовательно, можно предположить, что заливание грунта в море у горы Опук идет за счет минеральных выносов с берега и только не значительно за счет органических отложений. Видно, что иловые взвеси со дна мидийной фермы и от мыса Мальчин за 30 мин осветились только на 24 % и 17 % соответственно, через час – на 33 % и 21 %, через 4 суток – до 70 % и 58 %. Иловая взвесь, собранная с подводной поверхности скалы Золотые ворота имела очень малую

концентрацию (0,1 %) и соответственно высокую исходную прозрачность 58 %. Однако, через час прозрачность этой взвеси увеличилась только на 4 %, а через 20 часов – на 10 %. Следовательно, ил, покрывающий подводные скалы ниже 4 – 6 м глубины сплошным серым ковром, имеет очень низкую скорость оседания. Этот ил состоит, вероятно, из мертвого и живого органического вещества: осевшего «биологического снега». Причем, по нашим наблюдениям, он оказывает на наскальную биоту чрезвычайно негативное воздействие. Под этой взвесью нет мидий, от цистозир осталось лишь мертвые стволовые ветви, разреженные поселения митилястра и однолетних водорослей угнетены, лишь ульва, рапана и ее кладки – коконы выглядят относительно благополучными. Следовательно, можно предположить, что плохо оседающую часть илов от

м. Мальчин и с мидийной фермы также составляет органическое вещество. Чтобы оценить создает ли эта медленно оседающая фракция илов только замутнение или имеет еще и агрессивное биологическое воздействие, мы провели опыты по влиянию иловой взвеси на показатель БПК<sub>5</sub>. В несколько склянок для БПК с одной и той же морской водой было добавлено по 1 мл иловых взвесей из разных биотопов. Результаты этого опыта представлены на рис. 3. В октябре 2010 г. почти вся подводная поверхность скалы Золотые ворота была покрыта зеленой взвесью отмершей водоросли ульвы. С помощью сжатой пластиковой бутылки, как пылесосом, мы собирали эту взвесь, так же, как и раньше собирали серый осадок на скалах. Полученные пробы имели концентрацию меньше исходной, так при сборе они разводились окружающей водой.

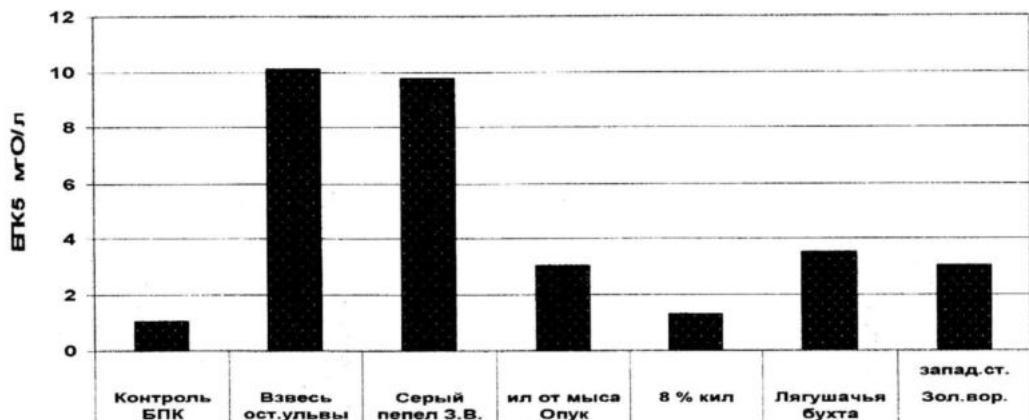


Рис. 3. Изменение БПК<sub>5</sub> морской воды при добавлении 1 мл иловой взвеси из разных биотопов

Для серого пепла со скал после выпаривания мы определили концентрацию: 100 мг на 100 мл взвеси (0,1 %). Взвесь ульвы при выпаривании давала ничтожно малый осадок, вес которого не определялся. При этом видно, что 1 мл такой взвеси ульвы, добавленный в более чем 100 мл воды (объем флакона), дает БПК<sub>5</sub> = 10,12 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Серый налет с подводной части скалы Золотые ворота также значительно поглощал кислород – БПК<sub>5</sub> = 9,77 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Другие илы, разведенные также более чем в 100 раз, тоже снижали содержание кислорода в пробах воды. Значит, при взмучивании илов в придонных областях возможны явления гипоксии и донные моллюски в этих биотопах живут в условиях дефицита кислорода. Для морей (I и II катего-

рии рыбохозяйственного водопользования) БПК<sub>5</sub> при 20°C не должна превышать 2 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, районы с БПК<sub>5</sub> в пределах от 4 до 10 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> определяются как грязные, а с БПК<sub>5</sub> больше 10 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> как очень грязные [10]. Интересно, что внесение 1 мл 8% взвеси кила практически не снижало содержание кислорода в пробе. Следовательно, в киле отсутствует органическая составляющая, способная поглощать кислород и медленно оседающая фракция состоит из коллоидной взвеси глин. Заиление грунтов носит неравномерный характер, но на границах заповедника этот процесс идет интенсивней. Так, иловая фракция грунта от мыса Мальчин содержит максимальное количество веществ, вызывающих устойчивое снижение прозрач-

ности воды на длительный период. Каждый шторм или траление, перемещающие массы грунта, будут вызывать длительное снижение прозрачности воды, сокращение солнечной энергии, получаемой донными гидробионтами, и, как следствие, негативные экологические процессы на дне: снижение биоразнообразия придонных сообществ. По всей заповедной акватории наблюдается сокращение видового разнообразия донных сообществ моллюсков под влиянием антропогенных факторов, усугубляемых активностью всеядных ракан [11]. Сильное заиление приводит, вероятно, к придонной гипоксии и гибели большинства моллюсков в ювенильном возрасте. В пробах грунта взятых в 2012 г. и содержащих больше 50 % ила (Коктебельская бухта в центре и у мыса Мальчин) живые моллюски и даже их створки отсутствуют.

**Заключение.** Таким образом, используя предложенный метод, можно относительно быстро получить экологические характеристики конкретных донных биотопов: концентрации ила в грунте, соотношения минеральной (быстрооседающей) и органическо – минеральной (медленно оседающей) составляющих ила и значения БПК<sub>5</sub> – способности ила поглощать кислород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман Ю.М. Материалы для количественной характеристики донной фауны Черного моря у Карадага // Труды Карадагской биол. станции. – Вып. 12. – Киев: Издательство АН УССР. – 1952. – С. 50 – 67.
2. Виноградова З.А. Материалы по биологии моллюсков Черного моря // Труды Карадагской биол. станции. – Вып. 9. – Киев: Издательство АН УССР. – 1950. – С. 100 – 159.
3. Чухчин В.Д. Рапана (*Rapana venosa L.*) на Гудаутской устричной банке // Труды Севастопольской биол. станции. – 1961. – т. XIV. – С. 178 – 187.
4. Смирнова Ю.Д., Алексеева В.Е., Кондратьева Е.Н. Состояние сообществ придонных моллюсков акватории Карадагского природного заповедника // Материалы IV международной научно-практической конференции «Заповедники Крыма 2007: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование», ТНУ, Симферополь, Крым 2 ноября 2007 г. – ТНУ, Симферополь. – 2007. – С. 198 – 203.
5. Кадошиников В.М., Красильщиков В.А., Губина В.Г., Писанская И.Р., Федоренко Ю.Г., Лебедев С.Ю., Смирнова Ю.Д., Гущина Е.Г. Иловые выносы горных массивов Карадаг и Эчкидаг // III міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблемі та шляхи вирішення». Алушта, АР Крим, Україна 10 – 14 вересня 2007 року. – Алушта. – 2007. – С. 394 – 398.
6. Петелин В.Д. Гранулометрический анализ морских донных осадков. – М.: Наука, 1967. – 265 с.
7. Галышева Ю.А., Нестерова О.В., Гришан Р.П. Гранулометрический состав и органическое вещество мягких осадков прибрежных морских экосистем северо-западной части Японского моря // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. – 976 с.
8. Смирнова Ю.Д., Глибина Н.А. Характеристики заиливания донных грунтов Карадагского заповедника // "Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решения" / Материалы II международной научной конференции. Херсон, 26 – 29 августа 2008 г. – Херсон. – 2008. – С. 432 – 438.
9. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО. – 1988. – 119 с.
10. Методические материалы Часть 3. Общие и суммарные показатели качества вод // <http://eclife.ru/>
11. Смирнова Ю.Д. Результаты многолетних исследований узкой прибрежной зоны акватории Карадагского заповедника (гидрохимия, гидробиология) // Карадаг – 2009. Сборник научных трудов, посвященный 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. – Севастополь, «ЭКОСИ-ГИДРОФИЗИКА». – 2009. – С. 462 – 473.