

Электрохимический профиль разных типов литорали Чернореченской губы Кандалакшского залива Белого моря

О.С. Новицкая¹, А. А. Вахрамеев², С. В. Баженов¹, И. В. Манухов¹, М. Ю. Колобов²
¹Московский физико-технический институт (государственный университет)
²Московский государственный университет имени Ломоносова

Введение

Исследования гидробиологами гидрохимических характеристик различных типов литоралей (илистой, песчаной и каменистой) показывают существенные различия рН, Eh, солености интерстициальной воды и концентрации других веществ, изменяющих направление и скорость окислительно-восстановительных процессов в морских осадках (Розанов А. Г., 1988; Колобов М. Ю., 2002), для разных горизонтов этих типов литорали, усиливающих зависимости от внешних условий (температура, инсоляция, ветровое воздействие и пр. Это может приводить к возникновению, электрических токов различной силы и направленности, вызванных разницей электрохимических потенциалов $\Delta \bar{U}$ разных горизонтов литорали и отличных по своей природе от морских теллурических токов.

Электрохимический потенциал является характеристикой комплекса физико-химических и биологических свойств среды и указывает на содержание кислорода, углекислоты и сероводорода (значениям показателя выше 0 mV соответствуют кислородные, от 0 до -200 mV - бескислородные, а более низким величинам - сероводородные условия),

Цели и задачи

В настоящей работе проверено предположение о наличии разницы электрохимического потенциала между разными уровнями литорали и морской водой, а также проведено сравнение вертикальных электрохимических профилей разных типов литоралей – каменисто-песчаной, песчаной и илисто-песчаной, позволяющее выявить особенности, способные быть индивидуальными маркерами специфических условий на литорали.

Методика исследования

Район исследования охватывал акваторию острова Оленевский Чернореченской губы Кандалакшского залива Белого моря. Измерения проводились в период 30.07.16 – 04.08.16 на следующих местах:

1. Каменисто-песчаная литораль
2. Песчаная литораль
3. Илисто-песчаная литораль

Снятия показаний проводилось при помощи мультиметра модели MASTECH M832, свинцовых электродов прямоугольной формы (масса 1 кг) и проводов (общая длина 100 м, сечение 0,75 мм) во время полного отлива по вертикальной трансекте с интервалом между точками измерения 5 м.

Каждая трансекта охватывала супралитораль, верхнюю, среднюю и нижнюю литораль и включала в себя 10-20 точек измерения в зависимости от ширины литоральной зоны. Один из электродов помещался в толщу воды в области sublиторали на глубине около 20-30 см. Второй электрод закапывался в грунт на глубине 5-10 см в каждой точке измерения. Измерялись такие показатели, как разность потенциалов между электродами (диапазон 2000мВ) и их сопротивление (диапазон 2000 Ом).

На основе полученных данных были построены графики кривых распределения потенциала следующих типов трех литоралей (рис.1, 2, 3).

1. Каменисто-песчаная литораль

Литораль данного типа представляет собой комплекс песчаных грунтов средней размерной фракции 0,5-1 мм.

Верхняя литораль покрыта макрофитами, представленными высшей цветковой растительностью, в частности *Aster tripolium* (Астра солончаковая), *Plantago maritima* (Подорожник морской), *Carex sp.* (Осоки). Процент покрытия макрофитами 50-100 %.

Средняя литораль представлена высоко сортированным песком средней заиленности, покрытой песчаной зыбью. Иногда встречаются небольшие литоральные лужи.

На **нижней литорали** находится значительное количество гранитных валунов, размером от 30 см до 1,5 м. Камни покрыты зарослями фукоидов, в частности *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*. Процентное покрытие макрофитами от 30 до 70 %.

Как видно на рис.1, $\Delta \mu$ увеличивается, достигая высоких положительных значений, в направлении к активно аэрируемой нижней литорали, с высоким содержанием фукоидов, которые активно выделяют кислород. На средней литорали наблюдается резкое падение Eh, указывающее на низкое содержание кислорода в заиленном песчаном грунте и скудное наличие растительности. Далее $\Delta \mu$ возрастает к хорошо аэрируемой средней литорали. Также, видно, что каменисто-песчаная литораль характеризуется большой вариабельностью значений вследствие разнообразия среды (камни, валуны, песок, литоральные лужи, растительность, осушенный грунт и пр.)

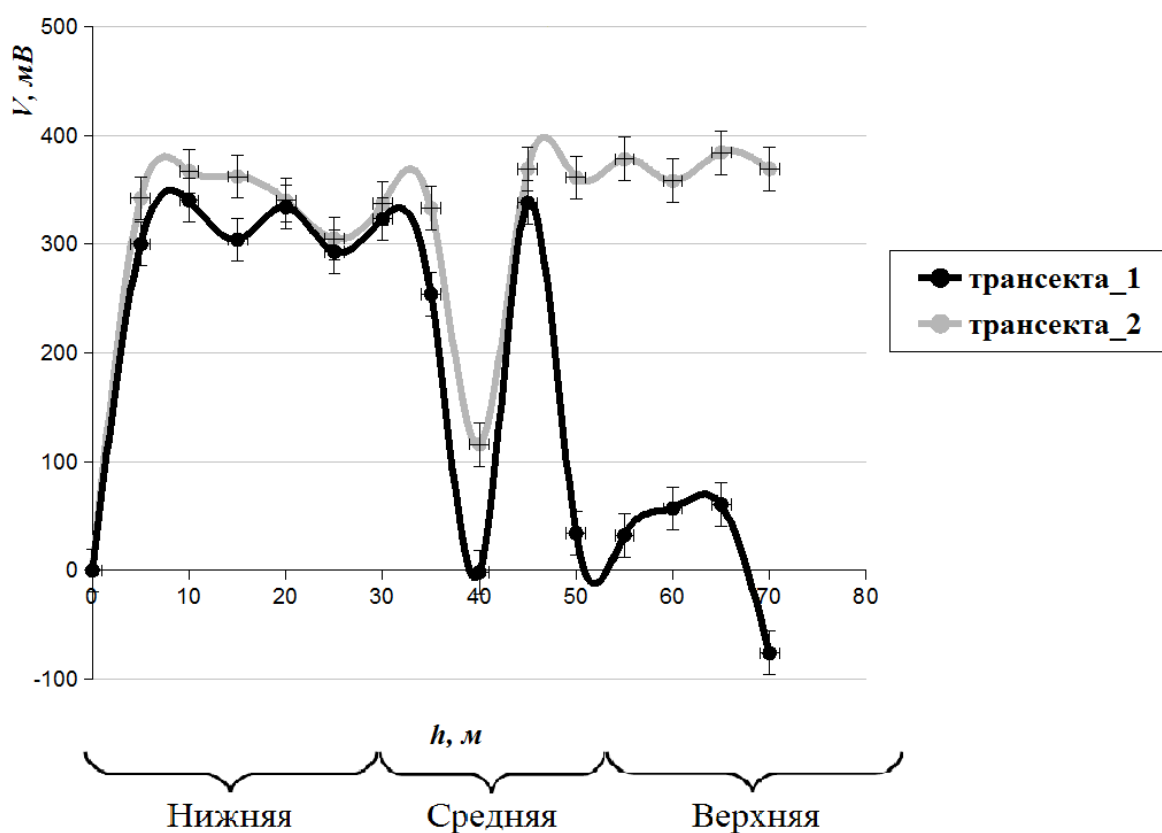


Рис. 1. Электрохимический профиль каменисто-песчаной литорали.

2. Песчаная литораль

Литораль данного типа в районе исследования представляет собой комплекс песчаных грунтов более разнообразной размерной фракции, чем у каменистой литорали. Средний гранулометрический размер 0,1-1 мм.

Верхняя литораль также покрыта макрофитами, представленными высшей цветковой растительностью, в частности *Aster tripolium* (Астра солончаковая), *Salicornia europaea* (Солерос), *Carex sp.* (Осоки). Процент покрытия макрофитами 70-100 %.

Средняя литораль представлена несортированным песком средней и низкой заиленности, покрытой песчаной зыбью. Иногда встречаются небольшие литоральные лужи. Является местом обитания *Arenicola marina* (Пескожил).

На **нижней литорали** могут встречаться как камни, покрытые зарослями фукоидов, в частности *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*, так и высокозаиленные участки, покрытые *Zostera marina* (Взморник морской). Процентное покрытие макрофитами разнообразно.

На рис.2 наблюдаются отрицательные значения $\Delta \mu$ из-за высокого содержания сероводорода, имеющего биогенное происхождение, в песчаном грунте. Песчаная литораль — место большого обилия жизни и активно протекающих процессов разложения органического вещества. Плотный покров макрофитов и водорослей благоприятствует возникновению в грунте анаэробных условий, препятствуя аэрации грунта (Worcester, 1995). На верхней литорали наблюдается рост Eh, что является следствием повышения содержания кислорода в грунте, его лучшей аэрацией. Также на рис. 2 вследствие неоднородностей на песчаной литорали наблюдается вариабельность снятых значений.

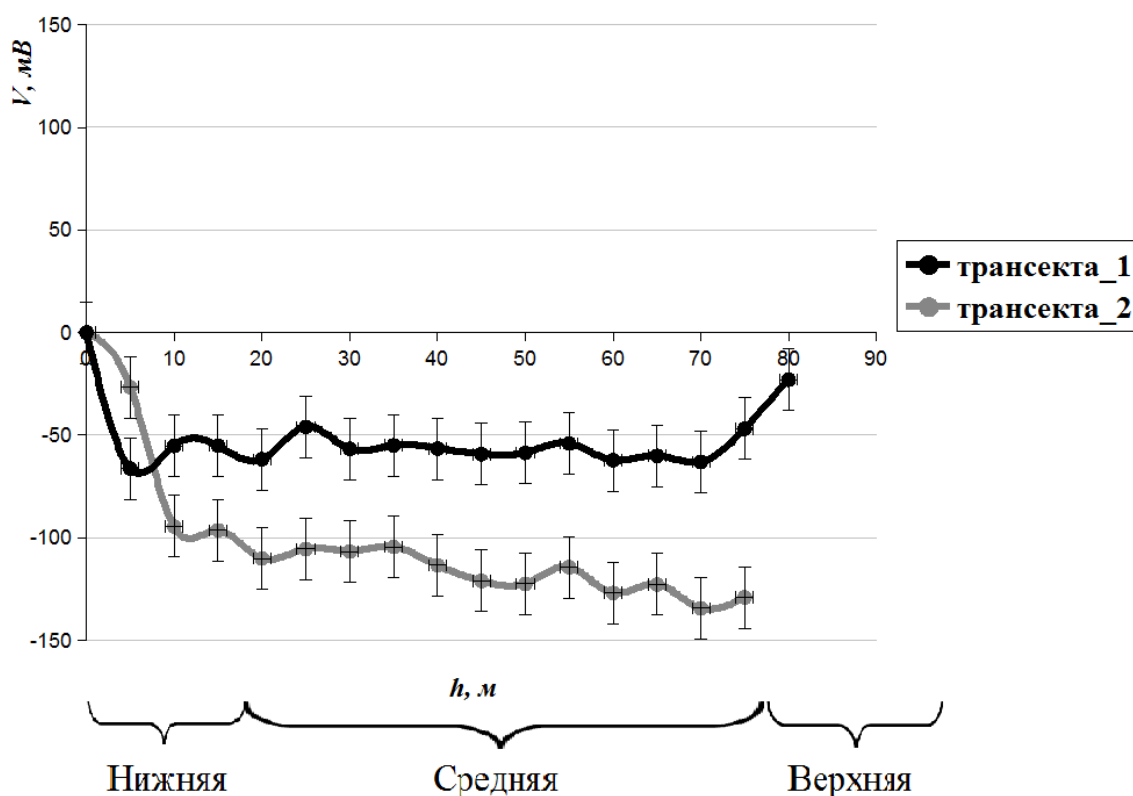


Рис. 2. Электрохимический профиль песчаной литорали.

3. Илесто-песчаная литораль

Литораль данного типа в районе исследования представляет собой смесь песка и алевропелита (ила) в различном соотношении. Средний гранулометрический размер 0,1- 0,5 мм. Грунт характеризуется высоким содержанием детрита на разной стадии разложения.

Верхняя литораль также покрыта макрофитами, представленными высшей цветковой растительностью, в частности *Aster tripolium* (Астра солончаковая), *Salicornia europaea* (Солерос), *Carex sp.* (Осоки). Процент покрытия макрофитами около 100%.

Средняя литораль представлена плохо сортированным песком высокой заиленности. Часто грунт покрыт тонкой пленкой воды, не уходящей во время отлива. Из макрофитов представлена *Ruppia maritima* (Руппия морская). Является местом обитания *Arenicola marina* (Пескожил) и многих других детритофагов.

На **нижней литорали** доминирует *Zostera marina* (Взморник морской). Процентное покрытие zostерой около 100%.

На рис.1 видны колебания невысоких значения $\Delta \mu$ на нижней, средней и верхней литорали. В этих районах наблюдается высокое содержание органики и слабая аэрация грунта, с

наличием детрита, что благоприятствует бескислородным условиям. Затем Eh возрастает к хорошо аэрируемому концу верхней литорали и уменьшается к соленому маршу богатому органическим веществом. Заметна однородность среды (также по колебаниям значений $\Delta \mu$).

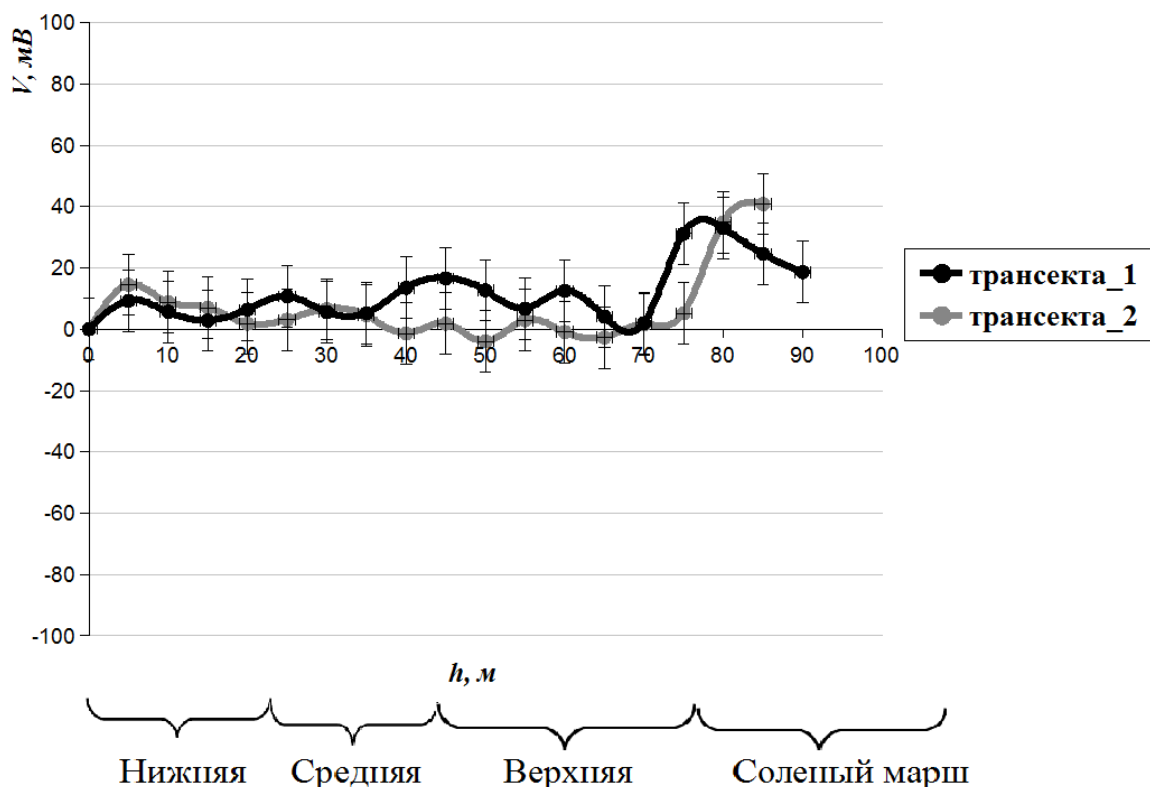


Рис. 3. Электрохимический профиль илисто-песчаной литорали.

Таким образом, показано, что во всех случаях, существует отличная от нуля разница потенциалов между любой точкой измерения на поверхности литорали и морской водой. А также замечено, что электрохимический профиль для каждой литорали индивидуален, и на изменения Eh оказывают влияние растительность, заиленность грунта и горизонт литорали.

№ трансекты	Каменисто-песчаная				Песчаная		Илисто-песчаная	
	1.1	2.1	1.2	2.2	Трансекта 1	Трансекта 2	Трансекта 1	Трансекта 2
Среднее значение, мВ	-37,9	-53,5	185,2	337,2	-55,0	-108,6	12,3	7,3
Стандартное отклонение, мВ	21,6	13,0	155,2	67,0	10,1	25,5	9,3	12,4

Табл. 1 Средние значения и стандартное отклонение значений Eh

Как показывают вычисления, большой вариабельностью значений характеризуется каменисто-песчаная литораль наибольшее разнообразие среды. Измерения имеют как положительное значение, так и отрицательное (области с высоким содержанием макрофитов и хорошей аэрацией, бескислородные области с песчаным грунтом и отсутствием растительности). Наименьшей вариабельностью характеризуется илисто-песчаная литораль, вероятно, вследствие своей высокой однородности. Значения положительны и малы (грунт с бедным содержанием

кислорода). Промежуточное место занимает песчаная литораль, также вследствие своей неоднородности. Значения E_h отрицательны (плохая аэрация грунта, сероводородные условия).

Каменисто-песчаная						Песчаная	Илисто-песчаная
r11-21	r11-12	r11-22	r21-12	r21-22	r22-12	r	r
0,19	0,34	-0,04	0,6	-0,1	0,18	-0,3	0,6

Каменисто-песчаная/песчаная		Илисто-песчаная/песчаная		Илисто-песчаная/каменисто-песчаная	
r1	r2	r1	r2	r1	r2
	0,2	0,5	0,7	0,8	-0,05
					0,16

Табл. 2 Результаты корреляционного анализа

Корреляционный анализ с использованием коэффициентов корреляции Пирсона показывает слабо положительную или нулевую корреляцию одного типа. Это может быть связано с высокой неоднородностью поверхности литорали и высоким разнообразием факторов среды, влияющих на картину. Такими факторами могут быть в том числе, дождь, ветер, различная степень инсоляции и пр.

Показано, что в районах с высоким покрытием макрофитами (как нижней, так и верхней литорали) наблюдается увеличение разности потенциалов достигающей 380 mV между морем и субстратом верхней литорали. На песчаной и илистой литорали наблюдаются отрицательные значения ΔU , то есть происходит инверсия направленности электрического тока (вероятно, из-за высокого содержания сероводорода). Направленность протекания электрического тока показывает, что в заиленных участках литорали донором электронов является морская вода, а в местах с каменистым субстратом и высоким покрытием макрофитами, донором электронов становится суша.

Были также проведены отдельные измерения зависимости разности потенциалов от времени при приливно-отливных циклах (рис. 4). Наши исследования показали, что во время прилива разность потенциалов между нижними и верхними горизонтами литорали сохраняется. Для песчаной литорали во время прилива ΔU возрастает.

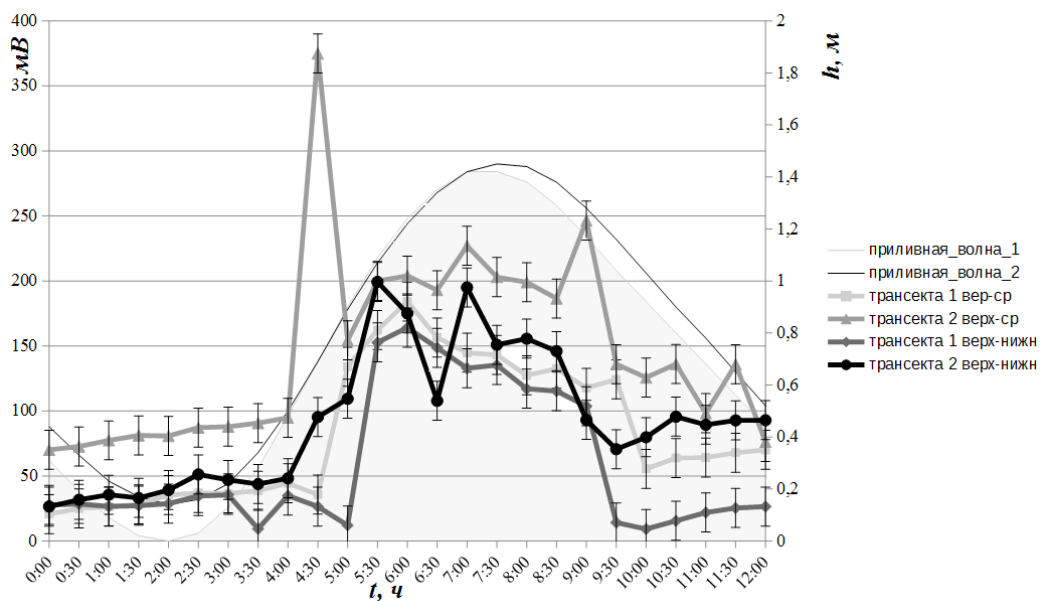


Рис. 4. ЭХП песчаной литорали за приливно-отливной цикл.

Выводы

Нами было подтверждено наличие ЭХП между разными уровнями литорали и морской водой и проверено, что на наблюдаемую картину электрохимического профиля в наибольшей степени влияет наличие или отсутствие макрофитов, заиленность грунта и горизонт литорали. Наличие камней является фактором неоднородности и вносит разброс в наблюдаемые результаты. В местах с высоким содержанием растительности, которая защелачивает среду, выделяет большое количество кислорода и потребляет гидрокарбонаты, наблюдается резкое увеличение разности потенциалов. В местах с анаэробными условиями с высоким содержанием детрита, сероводорода) мы наблюдаем падения разности потенциалов.

Таким образом, разные горизонты литорали характеризуются в достаточной степени индивидуальными комбинациями гидрохимических и физико-химических факторов, условно совпадающее с горизонтами литорали. Выявленные особенности, вероятно, могут использоваться морскими организмами, имеющими электромагнитную чувствительность, как фактор ориентации при миграциях, локальных перемещениях и в процессе оседания личиночного пула. Предположительно, разномасштабные профили ЭХП береговой зоны могут являться своеобразными «картами местности» для рыб, а для анадромных или проходных видов, использоваться при поиске места нереста (хominge).

Литература

1. Колобов М.Ю. Гальванотаксис моллюсков, как механизм, определяющий пространственное распределение. // Проблемы аквакультуры: Межвед. сб. науч. и науч.-метод. тр. 2005. с. 93-97.
2. Колобов М.Ю., Бурковский И.В., Удалов А.А., Столяров А.П. Пространственная организация и экологическая стратегия популяций *Priapulus caudatus* и *Halicryptus spinulosus* (*Priapulida*) в условиях синтопии. // Зоол. журн. 2002. Т.81. Вып. 3. С. 276-284.
3. Розанов А.Г. Окислительно-восстановительные процессы в морских осадках и методы их исследования. // В сб. «Химический анализ морских осадков». 1988. М.: Наука. С. 5-44.
4. Ass. U.K. V. 48. P. 387-435. Worcester S.E., Effects of eelgrass beds on advection and turbulent mixing in low current and low shoot density environments // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1995. V. 126. No. 1-3. P. 223-232.