

УДК 551.242/551.35

ДИНАМИКА ОСАДОЧНЫХ ВОЛН НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2021 г. А. К. Амбросимов^{1,*}, академик РАН А. П. Лисицын¹

Поступило 22.12.2020 г.

После доработки 14.01.2021 г.

Принято к публикации 18.01.2021 г.

Представлен материал по оценке динамики осадочных волн на западном склоне Каспийского моря. Обсуждается процесс образования волновой структуры осадочных волн под воздействием гидравлических скачков давления при движении гравитационных мутьевых потоков вниз по склону.

Ключевые слова: Каспийское море, континентальный склон, донные осадки, осадочные волны, мутьевые гравитационные потоки, внутренние волны, гидравлические скачки давления

DOI: 10.31857/S2686739721040034

Волнообразные осадочные структуры или осадочные волны (ОВ) широко распространены на континентальном склоне морей и океанов [7–9]. В зависимости от доминирующих процессов присутствуют две основные концепции образования осадочных волн. В одной образование ОВ связывают с деформацией осадков в результате процессов гравитационного оползания, например индуцируемого землетрясением или медленной деформацией крипа в результате длительного воздействия постоянного давления на неуплотненные осадки на неровностях поверхности морского дна [9]. В другой – основная роль в образовании волновой структуры ОВ отводится гидравлическому воздействию внутренних волн (ВВ) и придонных течений на осадочный материал, когда формирование циклической структуры ОВ на склонах происходит под воздействием периодических гидравлических скачков давления внутренних волн на осадки [8, 10]. Образование скачков давления, генерируемых мутьевыми потоками при обтекании осадочных волн вниз по склону, было подтверждено лабораторными экспериментами [3].

По литературным данным для обеспечения условия образования гидравлических скачков давления в мутьевом потоке необходим уклон не менее 0.01 [9]. Для исследуемого участка западного склона Среднего Каспия уклон составлял 0.032, т.е. условия для образования ОВ вполне достаточные.

При возникновении гидравлических скачков давлений должно выполняться условие перехода числа Фруда от значений $Fr < 1$ к значениям $Fr > 1$ (рис. 1). При этом скорость потока вниз по склону должна удовлетворять условию $Fr > 1$, где линейные размеры ОВ и впадин между ними, в условиях Фруда, будут определяться длиной разгона потока и его торможением, т.е. непосредственно уклоном склона [11, 12].

Анализ спектральных характеристик течения над ОВ показал, что циклическое воздействие на ОВ могут создавать как приливные, так и инерционные волны, однако характер этих воздействий разный. Приливные волны обладают как прямым действием – нагнетанием осадков (приливы), так и обратным – размывом (отливы). Давление же инерционных волн на осадки изменяется периодически по закону вращающегося эллипса, поэтому в этом случае процесс воздействия более сложный [2].

При выпадении осадочного материала происходит распределение взвеси, переносимой плотностными потоками, идущими с бровки шельфа вниз по склону, по размеру и плотности. На склонах осадочных волн, обращенных вверх, откладывается более грубый материал и в большем количестве – поток осадков тормозится (см. вставку на рис. 1), а на противоположном склоне ОВ, обращенном вниз, – более тонкий осадок и в меньшем количестве (поток осадков разгоняется). В результате образуется асимметрия волн с миграцией вершин в сторону берега (источника сноса) и мощности индивидуальных слоев на разных флангах каждой волны – разные. Чем ниже по склону, тем меньше размеры осадочных волн и скорости мутьевых потоков идущих вниз, а также

¹ Институт океанологии им. П.П. Шишова Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: ambrosimov@ocean.ru

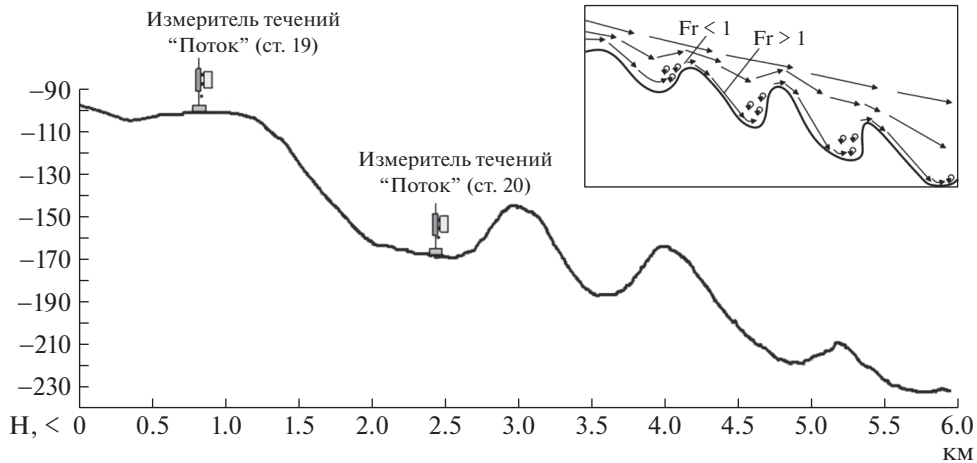


Рис. 1. Профили осадочных волн над западным склоном Дербентской котловины Каспийского моря по данным сейсмоакустического профилирования рельефа дна в 2007–2008 гг. На врезке показана схема образования гидравлических скачков над осадочными волнами.

концентрация осадка в них. В процессе формирования ОВ на западном склоне Среднего Каспия, кроме мутьевых плотностных потоков с шельфа, скатывающихся вниз по склону, всегда участвует и вдольсклоновое контурное течение, насыщенное взвешенным материалом стоковых вод.

Процесс седиментации осадочного материала в районе расположения ОВ носит сезонный характер. В летний сезон стоковыми водами рек Волги, Урала выносятся в море огромное количество взвешенного материала. Данные ежемесячного отбора седиментационного материала с помощью автоматизированных ловушек показали, что на западном склоне Среднего Каспия в зимний сезон происходит обильное выпадение осадка (рис. 2), а в летний — количество взвеси умень-

шается, [1, 4, 5]. Увеличение седиментационного материала в зимний период связано с многократным усилением течения, по сравнению с летним, которое взмучивает, вовлекает и переносит осадки в более спокойные районы моря. Некоторое увеличение вертикального потока осадочного материала в июне-июле (рис. 2) связано с выносом паводковых вод реками Северного Кавказа [1, 5].

Циклонический круговорот Среднего Каспия, по сути, является контурным течением, которое по кругу опоясывает Дербентскую котловину [2]. В зимний сезон течение интенсифицируется во всем слое от поверхности до дна до 100 см/с в ЮВ направлении, а в летний период течение над западным склоном ослабевает до 7–30 см/с и разбивается на ветви (рис. 3). Начиная с мая-июня течение в верхней части склона на глубинах от 50 до 150 м с ЮВ направления разворачивается на СВ, на глубинах моря 200–300 м движение вод сохраняется в юго-восточном направлении, а на глубинах моря ниже 300 м ветвь течения направлена на юг и юго-восток [1].

Профилирование вдольсклонового течения над осадочными волнами, выполненное с помощью доплеровского профилографа ADCP-150 в зональном направлении в экспедиции на нис «Тантал» осенью 2016 г. над западным склоном Среднего Каспия, показало, что над вершинами ОВ скорости течения меньше, чем во впадинах между ними. Это различие по скорости составляет от 30 до 50%, при диапазоне изменения скоростей от 5 до 17 см/с. Различие в скоростях подтверждается также данными отраженных акустических сигналов — во впадинах между ОВ поверхность дна акустически более плотная, а тела самих осадочных волн рыхлые со следами борозд от промоин [1, 7].

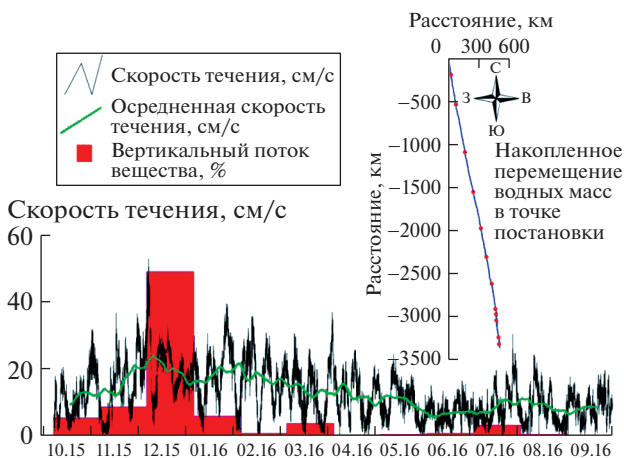


Рис. 2. Сезонная изменчивость скорости течения и вертикального потока вещества над западным склоном Среднего Каспия за период годовых наблюдений на ПБС с 7 октября 2015 по 3 октября 2016 г.

Для оценки динамики рельефа ОВ в августе 2007 г. в рейсе № 21/3 нис “Рифт” было проведено сейсмоакустическое профилирование склона Дербентской котловины на траверзе устья р. Самур в зональном направлении вниз по склону. Задачами исследований на полигоне были определение области простираения характерных морфометрических параметров донных отложений и изучение механизма образования и динамики ОВ. Съёмка была выполнена в августе 2007 г., по галсам широтного направления длиной 6.5 км с межгалсовыми расстояниями 200 м на глубинах от 100 до 348 м с координатами начала и конца центрального галса: 42°01′ с.ш., 48°40′ в.д. и 42°04′ с.ш., 48°40′ в.д. с помощью гидролокатора бокового обзора ИГБО-100. Максимальная глубина проникновения сейсмоакустического сигнала в донные осадки составляла около 300 м при вертикальном разрешении 1.5 м.

Повторные измерения, которые были проведены в июле 2008 г. по центральному галсу 2007 г., показали полное совпадение профилей осадочных волн в зональном направлении. Галсы площадной съёмки были осуществлены с помощью судового эхолота Fuguro-3000. Для выявления дополнительных деталей рельефа дна было выполнено семь галсов эхолотного промера протяженностью 6.5 км с межгалсовыми расстояниями между ними в 1 км [2, 4].

Съёмки показали (рис. 1), что наиболее крупные ОВ наблюдаются в верхней части склона. Так, ОВ на бровке склона относительно шельфа имеет высоту около 20 м, а относительно ложбины на склоне 30 м, высота второй ОВ относительно верхней ложбины 30 м, а нижней — 45 м, для третьей ОВ — 20 и 60 м соответственно, для четвертой — 10 и 25 м и далее по убыванию. Высоты ОВ относительно верхних ложбин составляют 10–30 м, а относительно нижних — 25–60 м и уменьшаются по мере движения вниз по склону. Расстояние между гребнем ОВ на бровке и ближайшей ОВ на склоне составило 3.5 км, а расстояния между гребнями соседних антиклиналей или ядрами синклиналей на склоне — около 1 км. Расстояния между пятью первыми ОВ вниз по склону составили 3.44, 1.03, 1.17 и 0.97 км. Наблюдаемая картина ОВ соответствует как аккумулятивным мигрирующим осадочным волнам [7, 9], так и образованиям под воздействием оползневых процессов [6, 7]. Эта волновая структура ОВ формируется вдоль-склоновыми течениями, турбидидными и мутьевыми потоками под воздействием циклического воздействия внутренних волн [8]. Внутренние волны генерируются при обтекании препятствий на склоне баротропными, приливными и инерционными течениями, что подтверждается вкладами энергий внутренних волн на различных пространственно-временных масштабах на западном склоне Среднего Каспия [1].

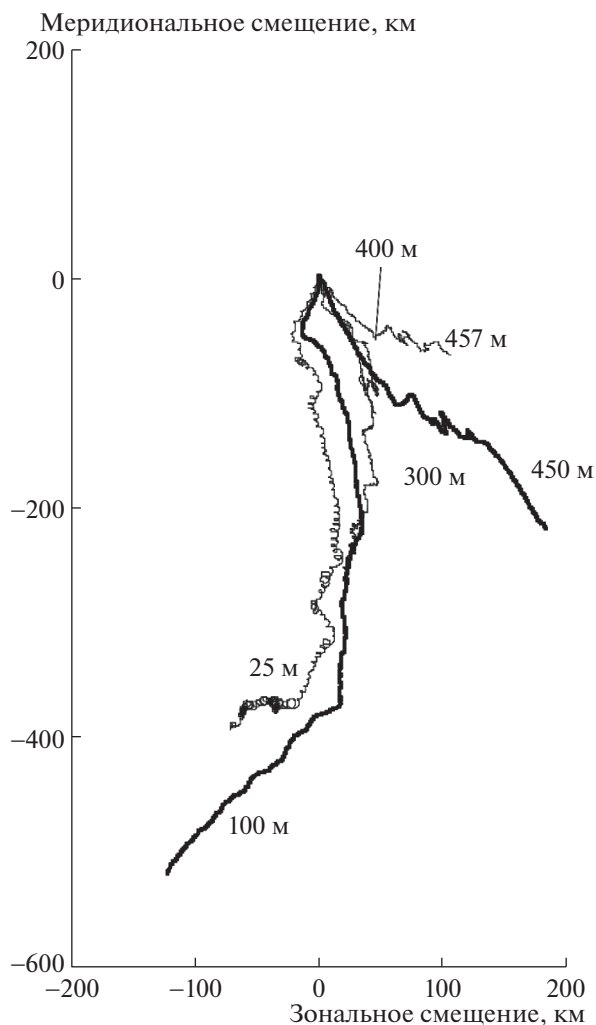


Рис. 3. Прогрессивно-векторные диаграммы скорости течения в летний период со 2 мая по 15 августа 2015 г. на различных горизонтах наблюдений (цифры у кривых) на ПБС-1520 над западным склоном Среднего Каспия (глубина 395 м, коорд. 42°07.751′ с.ш., 48°52.136′ в.д.).

Осенью 2016 г. был проведен эксперимент по оценке динамики рельефа ОВ по данным 2007 и 2016 г. Результаты акустических отражений показали, что геометрическая структура ОВ практически сохранилась, но изменились черты отдельных волн, так, высота 4-й ОВ (координаты: 42°03.47′ с.ш. и 48°45.0′ в.д.) оказалась на 0.7 м меньше по сравнению с данными измерений 2007–2008 гг. Такое расхождение можно объяснить размывом осадков, поскольку даже отклонение разреза 2016 г. от 2007 в несколько десятков метров существенно не скажется на результате сравнения, поскольку по данным акустического профилирования уклоны ОВ в направлении их простираения (ЮВ) не превышали 10 см на 100 м.

У подножия склона течение формирует из сползающих вниз по склону пластических плотностных потоков взвешенного материала, выпавших в осадок, осадочные формы, называемые контуритами. Прилегающая к склону часть материкового подножия является областью аккумуляции взвешенного материала, переносимого контурными течениями. Для западного подножия характерно оконтуривание языков акустически прозрачных линз осадков, которые опускаются по склону на глубину 670–700 м. Считается, что языки этих оползней являются потоками осадков, зародившимися в нижней части склона и продвинувшимися в зону уплотненных илов. Таким образом, это вторичные потоки, которые инициированы процессами, протекавшими на склоне. В настоящее время для подножия особенно характерны погребенные оползни и отложения подводных гравитационных течений. Они участвуют в сложении верхней 50-метровой толщи осадков. Продвижению уплотненных осадков к подножию склона способствует также образование летних каскадингов из холодных взвесенасыщенных вод, опускающихся вниз по склону. При каскадинге происходит сброс вниз по склону холодных мутьевых потоков вод от таяния ледников Северного Кавказа, которые увлекают за со-

бой обломочный материал, обогащая одновременно придонные воды кислородом. Температура воды в каскадинге ниже по сравнению с окружающим морем [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К. // Метеорология и гидрология. 2016. № 1. С. 60–77.
2. Завьялов И.Н., Жмур В.В. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 3. С. 345–354.
3. Лисицын А.П., Лукашин В.Н. // ДАН. 2014. Т. 456. № 4. С. 485–489.
4. Амбросимов А.К., Лобковский Л.И., Росляков А.Г. Контурное течения и контуриты Среднего Каспия // ДАН. 2018. Т. 481. № 2. С. 1119–1123.
5. Cattaneo A., Gorregiari A., Marsset T., et al. // Mar. Geol. 2004. V. 213. P. 121–148.
6. Covault J.A., Kostic S., Paull C.K., et al. // Mar. Geol. 2017. V. 393. P. 4–20.
7. Faugeres J.C., Gonthier E., et al. // Mar. Geol. 2002. V. 182. P. 279–302.
8. Komar P.D. Hydraulic Jumps in Turbidity Currents // Geol. Soc. Am. Bull. 1971. 82 (6). P. 1477–1488.
9. Russel B., Wynn, Dorrik A.V., et al. // Mar. Geol. 2002. 192. P. 1–3.

DYNAMICS OF SEDIMENTARY WAVES ON THE WESTERN SLOPE OF THE CASPIAN SEA

A. K. Ambrosimov^{a,#} and Academician of the RAS A. P. Lisitsyn^a

^a P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

[#] E-mail: ambrosimov@ocean.ru

The article presents data on the assessment of the dynamics of sedimentary waves on the Western slope of the Caspian Sea. The process of formation of the wave structure of sedimentary waves under the influence of hydraulic pressure surges during the movement of gravitational turbidity flows down the slope is discussed.

Keywords: Caspian Sea, continental slope, bottom sediments, sedimentary waves, turbid gravity flows, internal waves, hydraulic pressure surges