

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АЗОВСКОМ МОРЕ

В.Р. Коваленко

Севастопольский Национальный
Технический Университет
г. Севастополь, Стрелецкая балка,
Студгородок

Оценки характеристик литодинамических процессов в Азовском море выполнены по расчетной схеме Иванова – Михинова [2]. Учтены структура придонных пограничных слоев и вероятностное распределение размеров фракций донного материала.

Цель настоящей работы – анализ характеристик естественных литодинамических процессов в Азовском море, которое является перспективным регионом для освоения энергетических ресурсов. Важность изучения этих процессов обусловлена тем, что при использовании различных буровых платформ для разведки и добычи углеводородных энергоносителей существует проблема их устойчивости на грунте. Эта проблема связана с решением следующих задач: 1. Устойчивость против опрокидывания на грунте; 2. Устойчивость при сдвиге; 3. Устойчивость при просадке.

Каждая из этих задач в значительной степени определяется характеристиками процессов переноса, эрозии и переотложения материала грунта вблизи опорных оснований буровых платформ. В связи с этим, на первом этапе решения указанных задач необходима оценка удельного транспорта донных наносов при различной скорости ветра. Исходными данными для таких расчетов являются максимальная скорость ветра, глубина моря и характеристики фракций донного материала.

В соответствии с климатическими данными, максимальная скорость ветра в Азовском море может достигать 36 м/с. В связи с этим, оценки транспорта донных наносов выполнены при трех значениях скорости ветра: 20 м/с, 30 м/с, 40 м/с, то есть при штормовых условиях. Диапазон глубин, для которого выполнены расчеты, равен 2...12 м. При расчетах использовались данные о характере грунта в Азовском море,

причем оценки транспорта наносов выполнены только для песчаного грунта.

Данные геологических изысканий показали, что донный материал по своему составу является неоднородным. Анализ большого количества проб из различных районов позволил определить процентное содержание донных фракций с характерными размерами D . Это процентное содержание частиц по их размерам можно интерпретировать как вероятностное распределение фракций донного материала и пользуясь им вычислить плотность распределения вероятностей (гистограмму) $W(D)$, которая представлена ниже.

$W(D)$	1.64	3.82	1.10	0.039	$1.44 \cdot 10^{-3}$
диапазон D	0.05-0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-2	2-10

Величина D нелинейно связана с удельным транспортом наносов q и поэтому

$$q(\langle D \rangle) \neq \langle q \rangle, \quad (1)$$

где $\langle \rangle$ - символ осреднения.

В связи с этим, при расчете характеристик удельного транспорта наносов необходимо учитывать влияние реального вероятностного распределения фракций донного материала по размерам частиц на среднее (результатирующее) значение величины q .

Для оценок характеристик удельного транспорта наносов могут быть использованы различные методы. Для иллюстрации ниже, на Рис. 1 приведен график сопоставления двух расчетных схем – Иванова-Михинова [2] и Гончарова [3].

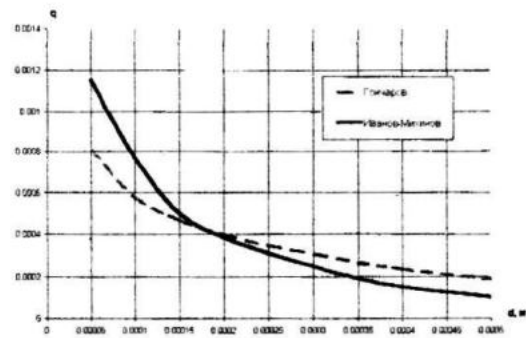


Рис. 1 - Сопоставление характеристик удельного транспорта наносов. Глубина $H=10$ м, скорость ветра $W=36$ м/с.

Видно, для диаметров частиц от 0,15 до 0,2 мм эти схемы дают близкие результаты. Расхождение при других параметрах объясняется, вероятно, тем, что в схеме Иванова-Михинова учитываются характеристики

поверхностных волн и средних по глубине течений, а в схеме Гончарова - только течений. Учитывая также то, что в схеме Иванова-Михинова использованы данные современных исследований транспорта донного материала, в дальнейшем анализе применена эта расчетная схема.

Параметры волн, необходимые для расчета, определяются по стандартной методике [1] для условий «мелкой воды». Основные характеристики волн для условий Азовского моря приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики волн при штормовой скорости ветра в Азовском море

H, м	W=20м/с				W=30м/с				W=40м/с			
	h	T	l	U	h	T	l	U	h	T	l	U
2	0.47	2.61	11.57	0.05	0.65	2.93	12.96	0.07	0.81	3.17	14.05	0.07
4	0.71	3.35	21.00	0.10	0.98	3.75	23.52	0.14	1.23	4.07	25.49	0.14
6	0.90	3.88	29.76	0.14	1.25	4.34	33.33	0.20	1.57	4.71	36.13	0.20
8	1.07	4.30	38.11	0.17	1.49	4.82	42.69	0.25	1.87	5.22	46.27	0.25
10	1.23	4.66	46.17	0.20	1.70	5.22	51.72	0.29	2.14	5.66	56.06	0.29
12	1.37	4.98	54.01	0.23	1.90	5.58	60.50	0.33	2.39	6.04	65.58	0.33

Примечание: h – высота волны, м; l – длина волны, м; T – период волны, м/с; U – скорость течения

Скорость течения вычисляется по эмпирическим соотношениям для мелководных морей. Поскольку в расчетной схеме Иванова-Михинова фигурирует скорость течения, осредненная по глубине, необходимо учитывать параметры придонного пограничного слоя. С этой целью производится расчет поверхностных течений для заданной скорости ветра W по следующему эмпирическому соотношению:

$$U_p = (-3 \cdot 10^{-5} H^2 + 0.0012H)W + (-6 \cdot 10^{-6} H^2 + 0.0025H) \quad (2)$$

Это соотношение получено путем аппроксимации методом наименьших квадратов эмпирических зависимостей скорости поверхностного течения от глубины H и скорости ветра W [2];

Вычисляются параметры придонного пограничного слоя. При этом, для вычисления профиля скорости течения $u(z)$ использована модель Прандтля для пограничного слоя над плоской поверхностью:

$$u(z) = U_0 \left(\frac{z}{\Delta} \right)^{1/7}, \quad (3)$$

где U_0 - скорость на верхней границе погранслоя, Δ -толщина погранслоя, z -расстояние от поверхности дна.

Для вычисления величины Δ использованы известные соотношения из теории пограничного слоя [2]:

$$\frac{\tau_0}{\rho U_0} = 0.0128 \left(\frac{U_0 \Delta_2}{\nu} \right)^{-0.25} \quad (4)$$

$$\Delta_2 = \frac{7}{72} \Delta \quad (5)$$

где τ_0 -напряжение, ρ -плотность, ν -кинематическая вязкость.

С другой стороны для экмановского пограничного слоя выполняются следующие соотношения:

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \langle u'v' \rangle = K_z \frac{U_0}{\Delta}, \quad \Delta = \sqrt{\frac{2K_z}{f}} \quad (6)$$

где u' , v' - пульсации скорости течения в турбулентном пограничном слое, K_z -коэффициент вертикальной диффузии импульса, f -параметр Кориолиса.

На основе соотношений (5), (6) находим:

$$\Delta = \left[0.045 \frac{U_0}{f} \left(\frac{\nu}{U_0} \right)^{0.25} \right]^{0.8} \quad (7)$$

Полагая, что $\nu = 10^{-6}$ м²/с, $f = 1.26 \cdot 10^{-4}$ рад/с, $U_0 = U_p$ вследствие малости глубин, находим

$$\Delta = 6.956 U_p^{0.6} \quad (8)$$

Далее определяются среднее по глубине значение скорости течения.

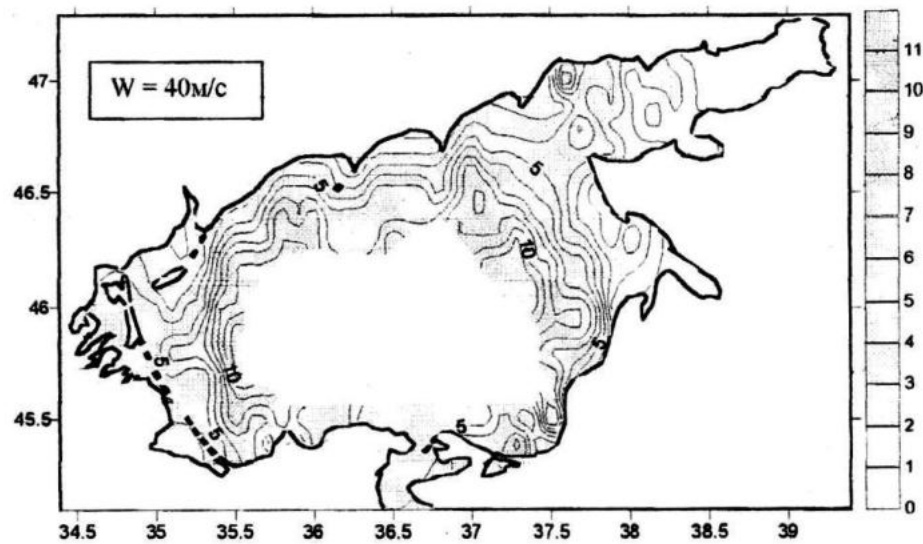
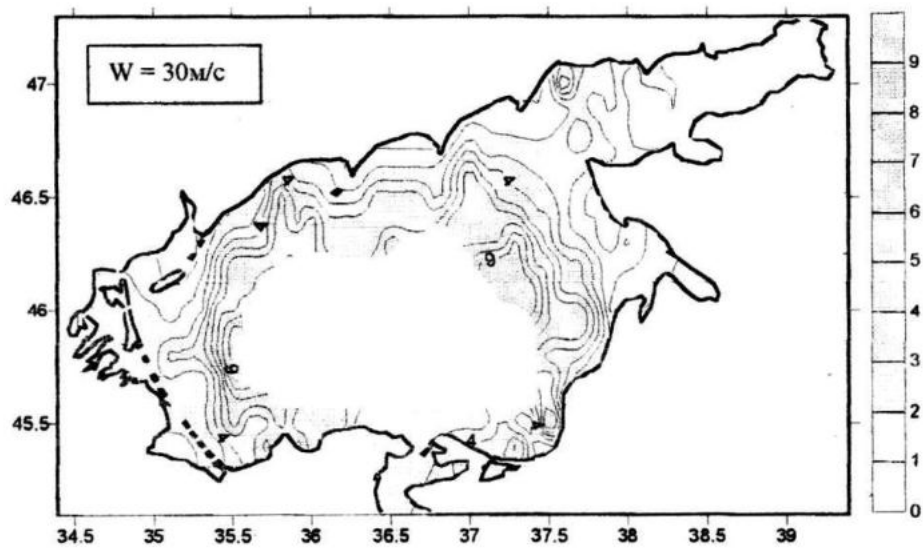
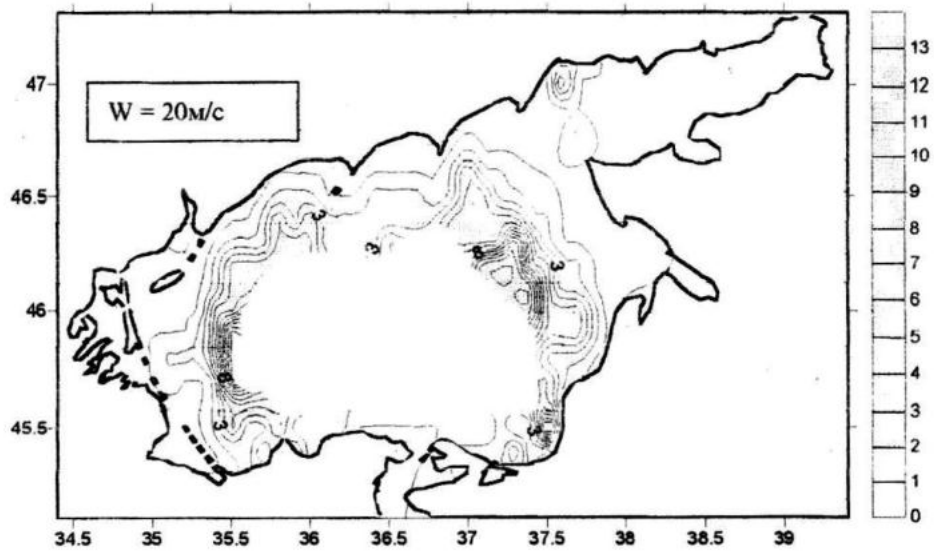


Рис. 2 - Распределение удельного транспорта наносов при различных скоростях ветра

Если $H > \Delta$, то средняя по глубине скорость течения V_s равна:

$$V_s = \frac{U_p}{H\Delta^{1/7}} \int_0^{\Delta} z^{1/7} dz + \frac{H-\Delta}{H} U_p = \frac{H-0.125\Delta}{H} U_p \quad (9)$$

Если $H < \Delta$, то

$$V_s = \frac{U_p}{H\Delta^{1/7}} \int_0^H z^{1/7} dz = 0.875 U_p \left(\frac{H}{\Delta}\right)^{0.1428} \quad (10)$$

В основу используемой расчетной схемы Иванова-Михинова положен учет формирования дополнительных тангенциальных напряжений, возникающих на деформируемом дне в условиях его рифельного строения. Эти дополнительные напряжения формируются под действием гидродинамических процессов: ветрового волнения и течений, индуцированных тангенциальными напряжениями ветра. Как уже отмечалось, в качестве исходных данных используются параметры ветровых волн (высота, длина, период и угол подхода к берегу), а также осредненные по вертикали скорости дрейфовых течений, характеристики которых были рассмотрены. В используемой расчетной схеме предусматривается также разделение транспортируемых водным потоком наносов на донные и взвешенные, сумма удельных расходов которых соответствует общему (суммарному) транспорту донного материала.

$$\langle q \rangle = \int_0^{\infty} A(H) D^{-3.4314} W(D) dD = \frac{A(H)}{2.4314} \sum_{i=1}^5 W_i(D) (D_{i1}^{-2.4314} - D_{i2}^{-2.4314}) = 1191.5 A(H) \quad (15)$$

Результаты расчетов представлены на рисунке 2 в виде пространственных распределений удельного переноса донного материала. В центральной области моря на этом рисунке отсутствуют изолинии, так как в этой зоне донный материал представляет собой ил и глину, а расчеты проводились только для песчаного дна.

Выполненные рассмотренными методами оценки дали следующие результаты:

- максимальная величина удельного транспорта донного материала составляет $11 \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{сут}$ и характерна для восточного района центральной части Азовского моря, где глубины изменяются от 10 до 12 м;
- при уменьшении скорости штормового ветра от 40 до 20 м/с, величина удельного транспорта донного материала уменьшается примерно в 2 раза.

С учетом вероятностного распределения фракций донного материала по размерам частиц, среднее значение удельного транспорта наносов $\langle q \rangle$ в общем виде вычисляется по соотношению:

$$\langle q \rangle = \int_0^{\infty} f(D) W(D) dD \quad (11)$$

где $f(D)$ - нелинейная зависимость удельного транспорта наносов от размеров фракций донного материала.

Для определения этой зависимости были вычислены средние величины удельного транспорта наносов при различных значениях скорости ветра W , различных величинах размеров D и глубинах моря H . Методом наименьших квадратов определены аппроксимационные соотношения, которые с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0.96 \dots 0.99$) приближают полученные зависимости. В результате, при изменении скорости ветра в диапазоне 20...40 м/с, размеров частиц донного материала от 0.05 до 20 мм и различных значениях глубины моря от 2 до 12 м, были получены следующие зависимости:

$$q_{20} = A(H) \cdot D^{-3.4314} = 4 \cdot 10^{-18} \cdot \exp^{0.4293H} \cdot D^{-3.4314} \quad (12)$$

$$q_{30} = A(H) \cdot D^{-3.4314} = 4 \cdot 10^{-18} \cdot H^{1.5966} \cdot D^{-3.4314} \quad (13)$$

$$q_{40} = A(H) \cdot D^{-3.4314} = 2 \cdot 10^{-17} \cdot H^{1.3816} \cdot D^{-3.4314} \quad (14)$$

Используя соотношение (11) находим:

Полученные данные характерны для экстремального гидрометеорологического режима и соответствуют возможным фоновым литодинамическим процессам при рассмотренных условиях. Полученные характеристики целесообразно учитывать при конструировании опорных оснований буровых установок в Азовском море.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анцыферов С.М., Косьян Р.Д. Взвешенные наносы в верхней части шельфа. - Москва: Гидрометеониздат, 1986, 224 с.
2. Иванов В.А., Михинов А.Е. Прогноз динамики наносов в прибрежной зоне моря (Практические рекомендации и примеры расчетов) Препринт МГИ АН УССР.- Севастополь: Изд. МГИ АН УССР, 1991, 50 с. Шлигтинг Г. Теория пограничного слоя - Москва: «Наука», 1969, 742 с.