

УДК 552.5 : 551.35(265.3)

А. С. Астахов

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АБСОЛЮТНЫЕ МАССЫ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОХОТСКОГО МОРЯ**

Обобщены данные по плотности и влажности поверхностного слоя осадков Охотского моря. Установлена зависимость этих параметров от вещественного и гранулометрического состава отложений, наличия диагенетических изменений, газовых включений. Уплотнение голоценового слоя осадков, имеющего мощность до нескольких метров, не отмечено. С учетом

физико-механических свойств осадков были пересчитаны скорости осадконакопления. На полученной карте резко обособляются выделенные ранее голоценовые седиментационные бассейны по периферии моря, где темпы накопления осадочного материала на порядок и более превышают существующие в центральной части моря и на аседиментационных участках шельфа.

Изучение физико-механических свойств (ФМС) верхней части осадочного чехла является одним из основных направлений морских геологических работ, необходимых при инженерно-геологических изысканиях, интерпретации сейсмоакустических данных, расчетах абсолютных масс осадочных тел и отдельных компонентов, их составляющих (минералы, химические элементы). Голоценовые отложения слагают наиболее обводненную часть осадочного чехла, где диагенетические изменения осадков и их уплотнение большей частью еще не проявились. Согласно имеющимся сведениям по Охотскому морю и близлежащим акваториям [3, 6], ФМС осадков зависят прежде всего от их вещественного и гранулометрического состава. Целью данного исследования является обобщение данных по ФМС голоценовых отложений Охотского моря, анализ их тонких изменений в зависимости от возраста, литологического состава и условий залегания и использование этих результатов для расчета абсолютных масс голоцена.

Изучение ФМС проводилось в ряде экспедиций на научно-исследовательских судах, выполнивших с 1980 по 1989 гг. Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО АН СССР. Помимо автора определения проводили В. В. Донцов, Н. Г. Яшкина, Ф. М. Мамонт. Для анализа использовались ненарушенные колонки осадков, отобранные гидростатическими пробоотборниками ГСП-1 и ГСП-2 с диаметром колонковой трубы 124 мм. По алевритовым, пелитовым и заиленным псаммитовым осадкам эти пробоотборники, в большинстве случаев, отбирали ненарушенные монолиты. В сортированных псаммитовых осадках обычно происходит нарушение текстуры за счет движения поровых вод в момент срабатывания

гидростатического механизма [4]. В любом случае, для анализа использовались ненарушенные колонки или их интервалы.

ФМС анализировались на борту судна по стандартной методике: отбор монолитов объемом 50 см<sup>3</sup>, высушивание их при температуре 105 °С до постоянной массы, взвешивание до и после сушки с точностью до 0,02 г. По полученным измерениям рассчитывались плотность натурального осадка ( $\rho$ ), объемная масса минерального скелета ( $d_p$ ), минералогическая плотность ( $d_i$ ), объемная ( $W_0$ ) и весовая ( $W$ ) влажность натурального осадка по формулам:  $\rho = (P_0 - P)/V$ ;  $d_p = P/V$ ;  $d_i = P/(V - (P_0 - P)/\delta_0)$ ;  $W_0 = ((P_0 - P)/V\delta_0) \times 100 \%$ ;  $W = ((P_0 - P)/P) \cdot 100 \%$ , где  $P_0$  и  $P$  — масса пробы до и после сушки (г);  $V$  — объем изучаемой пробы (см<sup>3</sup>);  $\delta_0$  — объемная масса поровой (морской) воды (г/см<sup>3</sup>).

Возраст осадков был принят в соответствии с проведенным ранее обобщением биостратиграфических и физических определений и разработанными литостратиграфическими признаками [1]. Литологические (гранулометрические) типы осадков выделялись в соответствии с трехкомпонентной классификацией, использованной ранее для Японского моря [7]. При составлении карт ФМС использовались также результаты предыдущих определений [3].

При визуальном описании осадка особое внимание уделялось наличию инородных примесей, газовых включений, следов постседиментационных преобразований. Для изучения вещественного (компонентного) состава осадков изготавливались микроскопические препараты. При описании их оценивалось содержание обломочной, глинистой, биогенных кремнистой и карбонатной, вулканокластической составляющих осадка и наличие диагенетических ново-

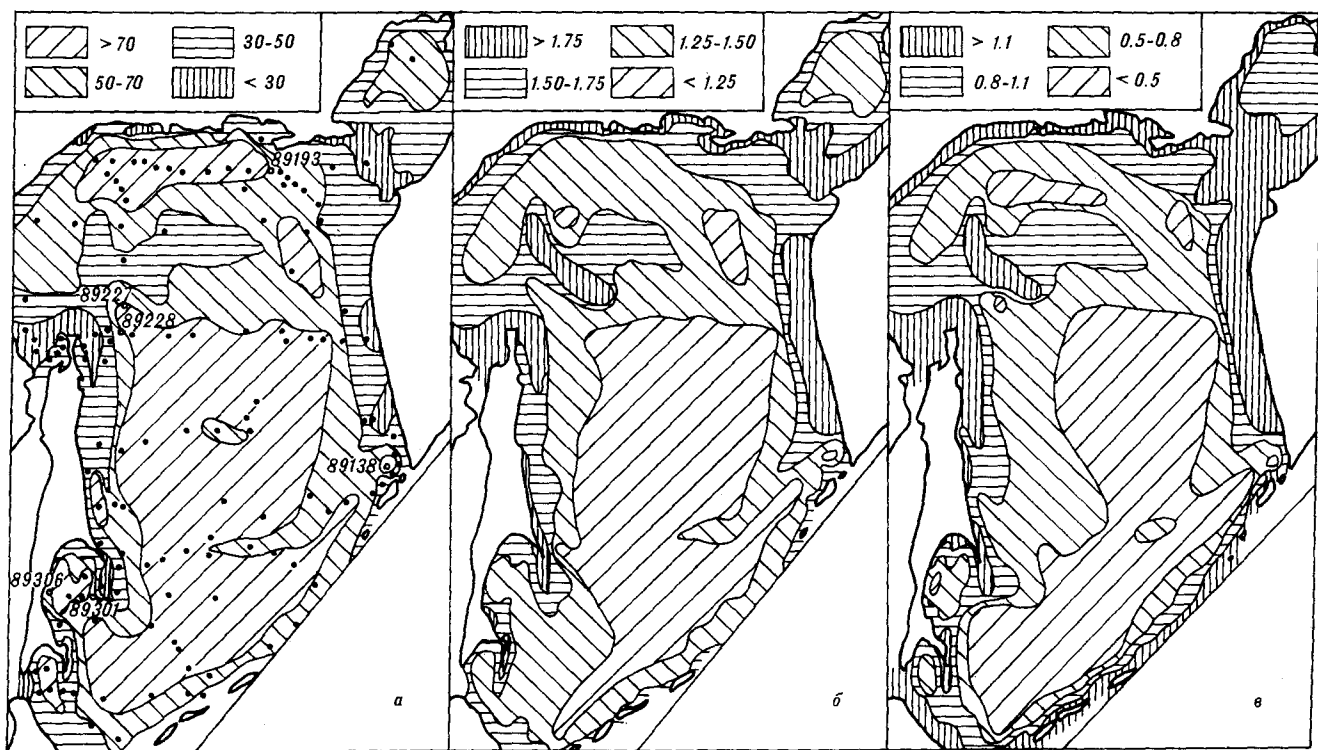


Рис. 1. Физико-механические свойства голоценовых отложений Охотского моря.

а — объемная влажность  $W_v$ , % (точками обозначены изученные станции, кружками — станции и номера, на которые имеются ссылки в тексте); б — плотность натурального осадка  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>; в — объемная масса минерального скелета  $d_\rho$ , г/см<sup>3</sup>.

образований. Из последних при рентгеноструктурном анализе, выполненном А. В. Можеровским, установлены кальцит и пирит. Во всех колонках с помощью полевого капнометра ИМВ-2 измерялась магнитная восприимчивость. Гранулометрический анализ осадков выполнялся в Центральной лаборатории ПГО Приморгеология.

Результаты изучения ФМС голоценовых отложений обобщены на рис. 1 и в таблице. Конкретные примеры изменения ФМС по разрезу поверхностного слоя осадков на участках интенсивного осадконакопления приведены на

рис. 2. В большинстве случаев в глубоководной части моря и на внешнем шельфе голоценовые отложения имеют однородный литологический состав и ФМС их практически не изменяются по вертикали (см. рис. 2, станции 89138, 89193). В них почти не проявлено уплотнение, которое при этих условиях, по расчетным данным, может составлять 5—10% на 1 м [5]. В центральной части моря изменение ФМС осадков происходит вблизи границы голоцена и верхнего плейстоцена, что связано с изменением литологического состава осадков [1]. В большинстве случаев на этой

Средние значения физико-механических параметров голоценовых отложений Охотского моря (т — терригенные, к — кремнистые и слабокремнистые)

Гранулометрический тип осадка	Вещественно-генетический тип осадка	Количество анализов	Плотность натурального осадка $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Объемная масса минерального скелета $d_\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Объемная влажность $W_v$ , %	Весовая влажность $W$ , %
Псаммиты	т	27	1,78	1,25	44,09	43,20
Псаммиты алевритовые	т	33	1,73	1,16	42,48	49,53
Алевриты псаммитовые и алевриты	т	11	1,68	1,06	58,99	58,49
Микститы нерасчлененные	т	14	1,63	0,98	51,57	43,45
Алевриты пелитовые	т	38	1,55	0,89	62,26	78,20
Пелиты алевритовые	к	23	1,44	0,71	68,96	92,00
	т	58	1,42	0,71	74,85	104,29
Пелиты	к	70	1,36	0,63	71,33	105,88
	т	19	1,37	0,56	82,04	147,99
	к	80	1,29	0,53	75,35	145,89

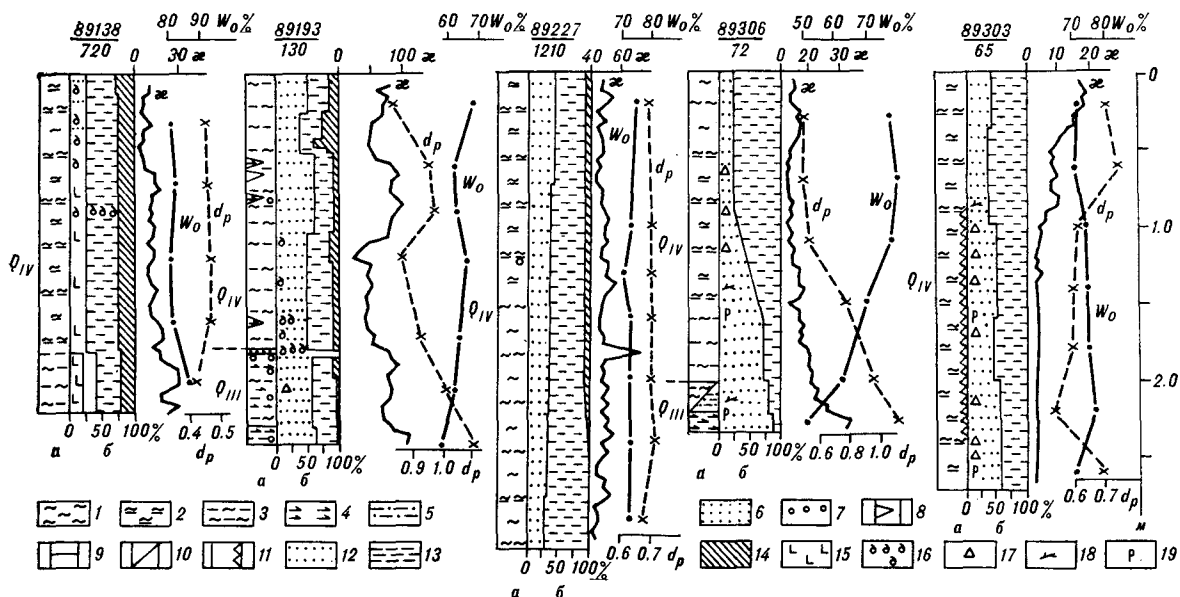


Рис. 2. Литологический состав и физико-механические свойства отложений по колонкам из районов с интенсивным осадконакоплением в голоцене.

*a* — структурные и текстурные особенности осадков; *b* — вещественный состав осадков;  $W_0$  — объемная влажность, %;  $d_p$  — объемная масса минерального скелета, г/см<sup>3</sup>;  $\kappa$  — магнитная восприимчивость,  $\times 10^{-6}$  ед. СГС. Цифры над колонками означают: числитель — номер станции, знаменатель — глубина моря, м. 1—7 — гранулометрические типы осадков: 1 — пелиты, 2 — пелиты алевролитовые, 3 — алевролиты пелитовые, 4 — алевролиты, 5 — алевролиты псаммитовые, 6 — псаммиты нерасчлененные, 7 — псефиты и рассеянная примесь гальки и гравия в тонкозернистых осадках; 8 — линзы осадков инородного состава; 9 — хорошо выраженные литологические границы; 10 — тонкое переслаивание осадков различного гранулометрического состава; 11 — интервалы колонок с сероводородным заражением; 12—15 — компоненты вещественного состава осадков: 12 — обломочная терригенная, 13 — глинистая, 14 — биогенная кремнистая, 15 — биогенная карбонатная; 16 — фораминиферы; 17 — раковинный дерит; 18 — растительные остатки; 19 — повышенная примесь тонкодисперсных диagenетических сульфидов.

возрастной границе кремнистые диатомовые осадки замещаются глинистыми терригенными или, реже, глинистые терригенные — обломочными терригенными.

На внутреннем шельфе подобное изменение литологического состава осадков произошло позднее и граница горизонтов с различными ФМС находится в возрастном интервале 6—8 тыс. лет назад (см. рис. 2, станция 89306), внутри голоценовых отложений. В большинстве изученных колонок верхний осадочный слой, нижняя граница которого имеет возраст от 6—8 до 14—15 тыс. лет, характеризуется однородными ФМС. Лишь в некоторых случаях на внешнем шельфе на участках с замедленным осадконакоплением, в пределах верхнего слоя наблюдается закономерное изменение ФМС, совпадающее с изменениями вещественного состава осадков (см. рис. 2, станция 89193). Возможно, это вызвано изменениями темпов осадконакопления и, соответственно, различной концентрацией материала ледового разноса.

В литологически неоднородных осадках значения ФМС определяются, главным образом, содержанием обломочной компоненты, что в первом приближении соответствует содержанию алевролит-псаммитовых гранулометрических фракций. Это хорошо демонстрируется сравне-

нием карт ФМС (см. рис. 1) и существующих карт распределения донных осадков и гранулометрических фракций [2]. Наиболее наглядно зависимость ФМС от вещественного и гранулометрического состава осадков проявляется в колонках 89193, 89306 (см. рис. 2).

Литологический состав осадков в какой-то мере фиксируется и значениями магнитной восприимчивости ( $\kappa$ ). Величина ее для осадков Охотского моря определяется, преимущественно, содержанием магнетита и, через это, — содержанием обломочной компоненты в целом. В связи с этим, во многих колонках наблюдаются синхронные изменения значений  $\kappa$ ,  $\rho$ ,  $d_p$ ,  $W_0$ , коррелирующиеся с содержанием обломочной компоненты в осадках (см. рис. 2, станция 89193). Так как она почти нацело слагает песчаную и крупноалевролитовую фракции осадка и преобладает в мелкоалевролитовой, а глинистая и биогенная кремнистая компоненты преобладают в пелитовых фракциях, то все эти изменения физических параметров в пределах одного района хорошо коррелируют с гранулометрией осадков.

При анализе карт ФМС (см. рис. 1) обращает на себя внимание близость контуров для всех коэффициентов. Распределение объемной влажности, например, почти идентично изолиниям содержания фракций мельче 0,01 мм и,

в центральной части моря, совпадает с распределением аморфного кремнезема в осадках [2]. Значения  $\rho$  и  $d_p$  имеют обратную корреляцию с содержанием фракций мельче 0,01 мм и  $W_0$ , но контуры изолиний на карте также близки. В то же время, наблюдается несоответствие полей максимальных значений  $W$  и минимальных значений  $\rho$  и  $d_p$  (см. рис. 1). На северном шельфе поле осадков с максимальной влажностью находится ближе к берегу, а минимальные значения  $\rho$  и  $d_p$  смещены южнее, где в осадках значительно больше роль биогенного кремнистого материала. Такая же ситуация возникает и на присахалинской акватории, где изолинии с низкими значениями  $\rho$  и  $d_p$  смещены относительно  $W$  в центральную часть моря и, таким образом, ограничивают с востока область разноса тонкой терригенной взвеси, выносимой Амуром и реками Южного Сахалина.

На графиках зависимости ФМС осадков от содержания пелитовых фракций корреляционные связи проявляются во всех случаях (рис. 3), хотя не столь идеально как, например, для Японского моря [6]. Существует достаточно большой разброс точек, обусловленный, вероятно, конкретными особенностями осадка. К ним относится отмеченное выше некоторое несоответствие ФМС глинистых и диатомовых осадков. На диаграммах  $d_t$  и  $d_p$  точки, соответствующие кремнистым осадкам, попадают на общее поле вблизи линии регрессии, но на диаграммах влажности они смещены несколько левее.

Разброс точек на диаграммах  $d_t$ ,  $d_p$  и  $W_0$  определяется главным образом осадками прикурильского района (вулканогенно-терригенными) и колонки 89228. В первом случае изменение ФМС объясняется присутствием в значительных количествах свежей пористой пирокластики алеврит-псаммитовой размерности с заполненными водой и газами пустотами. Соответственно на графиках  $d_t$  и  $d_p$  точки, отвечающие этим пробам, располагаются ниже линии регрессии, а на графиках  $W$  и  $W_0$  — выше. Изменение ФМС осадков, обогащенных пирокластикой, хорошо иллюстрируется данными по колонке 89138 (см. рис. 2). В ее основании, обогащенном пирокластикой, кривые  $d_p$  и  $W_0$  отклоняются в противоположную сторону, чем при уплотнении осадка или огрублении его состава. Примесью пирокластики вызвано, вероятно, и изменение ФМС в узкой полосе вдоль Курильских островов, что наиболее заметно по значениям  $\rho$  (см. рис. 1).

Наличие газов, растворенных в иловых водах или находящихся в осадке в иной форме, существенно изменяет ФМС при анализе проб в лабораторных условиях. При этом отмечено два случая. В колонке 89228, специально ото-

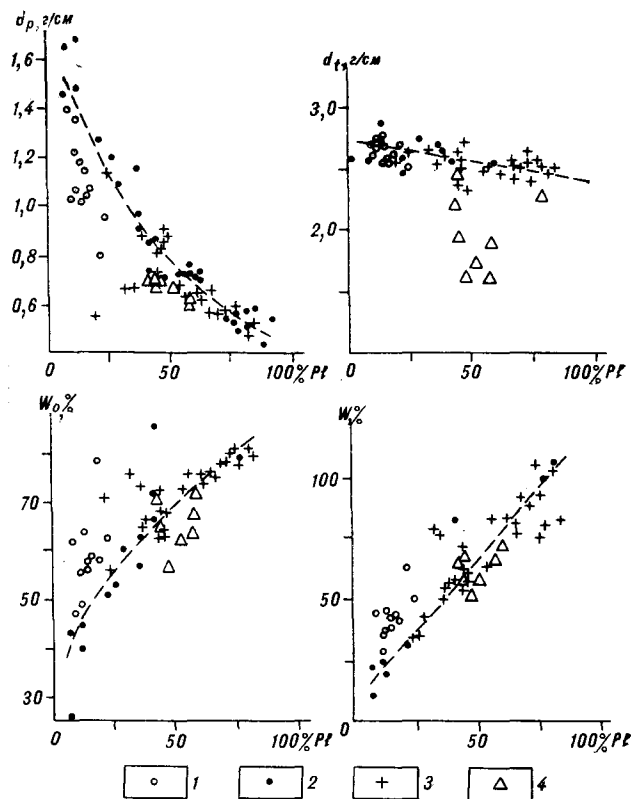


Рис. 3. Зависимость физико-механических свойств осадков Охотского моря ( $d_p$  — объемная масса минерального скелета,  $d_t$  — минералогическая плотность,  $W_0$  — объемная влажность,  $W$  — весовая влажность) от содержания гранулометрических фракций мельче 0,01 мм (Pl, %).

1—4 — типы осадков: 1 — вулканогенно-терригенные из района Курильских островов, 2 — терригенные, 3 — биогенно-терригенные кремнистые и слабокремнистые, 4 — сильно загазованные осадки станции 89228.

бранной в точке миграции и выхода со дна углеводородных газов, осадки, залегающие ниже 1,0—1,5 м от поверхности дна, имеют большое количество соединенных между собою пор, заполненных метаном с примесью сероводорода. На графике  $d_t$  (см. рис. 3) все пробы с большим содержанием газа (более 100 мл/л) из этой колонки располагаются значительно ниже компактного поля точек для всех остальных проб. Несколько хуже это выражено на графиках  $W_0$  и  $\rho$ . На графике же  $W$ , как и следует из расчетной формулы, точки, соответствующие пробам колонки 89228, располагаются среди основной массы точек. В ряде колонок отмечены признаки интенсивной сульфатредукции, выражающейся в появлении свободного сероводорода и обогащении осадков тонкодисперсными сульфидами железа. Сероводород фиксировался по сильному запаху и следам от выхода мельчайших пузырьков газа на свежей разрезанной поверхности керна. Кроме этого, во многих случаях интервалы

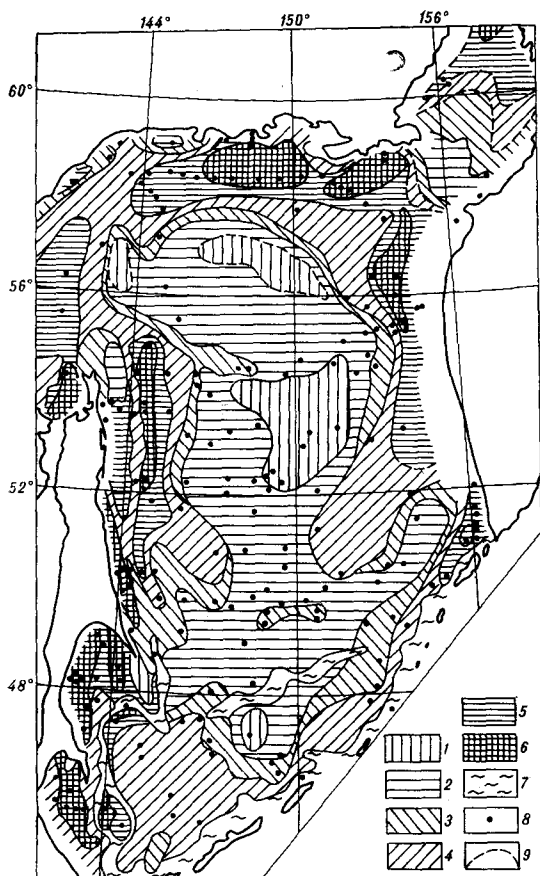


Рис. 4. Средние для голоцена скорости осадконакопления в Охотском море ( $\text{г/см}^2$  в 1000 лет).

1 — менее 1; 2 — 1—3; 3 — 3—5; 4 — 5—10; 5 — 10—20; 6 — более 20; 7 — участки склонов с аномальными скоростями седиментации; 8 — станции, использованные для построения карты; 9 — участки с предполагаемыми значениями скоростей осадконакопления.

с интенсивной сульфатредукцией отличаются очень низкой магнитной восприимчивостью (см. рис. 2, станция 89303), что может быть объяснено переходом обломочного магнетита в немагнитные сульфиды железа. Изменение ФМС в интервалах колонок с сероводородным заражением определяется уменьшением значений  $d_p$  и увеличением  $W_0$  при относительно небольшом, часто незаметном уменьшении  $\rho$ . Вероятно, *in situ* сероводород находится в иловых водах в растворенном состоянии и выделяется в виде пузырьков размером не более 1 мм при уменьшении давления. При обработке осадка и отборе проб на анализ этот газ частично улетучивается, а образовавшиеся поры заполняются иловой водой. В результате при анализе ФМС в лабораторных условиях выявляются повышенная объемная влажность осадка (содержание воды в единице объема) и низкая плотность минерального скелета за счет наличия дополнительных пор, заполненных газом и водой.

Указанные изменения значений ФМС, связанные с наличием свободных газов в осадке, обусловлены использованной методикой отбора и анализа образцов на борту судна. При проведении измерений в условиях, соответствующих их естественному залеганию, повышенное содержание растворенных газов не должно влиять на их ФМС.

С учетом приведенных данных по ФМС осадков были рассчитаны скорости осадконакопления в голоцене для Охотского моря в абсолютных массах. В качестве основы были использованы колонки, по которым ранее определялись скорости осадконакопления в линейных единицах [1]. Кроме этого были учтены данные по колонкам, полученным в 1988—1989 гг. Для тех из них, где прямые измерения не проводились, ФМС были рассчитаны через содержание фракций мельче 0,01 мм (см. рис. 3). В случае, если отсутствовали данные гранулометрического анализа, ФМС определялись по типу осадка (см. таблицу).

Полученная карта скоростей осадконакопления (рис. 4) в общих чертах близка существующим [1, 2]. В отличие от них в абсолютных массах проявляется значительно большая дифференциация между центральной частью моря с малыми и относительно равномерными темпами осадконакопления и периферийной частью, где при крайне неравномерном распределении преобладают повышенные значения скоростей осадконакопления. В пределах выявленных ранее [1] седиментационных бассейнов на шельфе и подножия материкового склона темпы осадконакопления оказались на порядок и более выше, чем в центральной части моря.

Итак, ФМС голоценовых отложений Охотского моря зависят, главным образом, от их вещественного состава, в первую очередь от соотношения в осадке обломочной компоненты, с одной стороны, и глинистой и биогеннокремнистой компонент — с другой. Исходя из того, что эти компоненты имеют соответственно псаммит-алевритовую и пелитовую размерность, ФМС осадков проявляют хорошую корреляцию с гранулометрическим составом, на пример, с содержанием фракции мельче 0,01 мм.

Помимо этого, основного, установлено еще несколько второстепенных факторов, влияющих на ФМС: соотношение между глинистой и биогенной кремнистой компонентами во фракции мельче 0,01 мм, примесь свежей неизменной пирокластики, наличие газовых включений различного происхождения, ускоренный диагенез осадков.

В глубоководной части моря и на внешнем шельфе, где голоценовые отложения представлены литологически однородными осадками

мощностью до нескольких метров, ФМС их практически не изменяются по всему разрезу. На внутреннем шельфе поверхностный горизонт с одинаковыми литологическим составом и ФМС имеет возраст до 6—8 тыс. лет. Таким образом, почти по всей площади моря голоценовые отложения можно рассматривать как один слой. При отсутствии прямых измерений ФМС могут быть рассчитаны через веществен-

ный (гранулометрический) состав осадков.

На представленной карте скоростей осадконакопления в абсолютных массах отчетливо выделяется ряд голоценовых седиментационных бассейнов по периферии моря, в которых темпы накопления осадочного вещества на порядок и более превышают существующие в центральной части моря и на аседиментационных участках шельфа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А. С., Вагина Н. К., Горбаренко С. А. и др. Скорости голоценового осадконакопления в Охотском море // Тихоокеан. геология.— 1988.— № 4.— С. 3—14.
2. Безруков П. Л. Донные отложения Охотского моря // Тр. Ин-та океанологии АН СССР.— 1960.— Т. 32.— С. 15—97.
3. Бруевич С. В. К химии осадков Охотского моря // Там же.— 1956.— Т. 17.— С. 41—132.
4. Гаранько Ю. Л. Использование гидростатического давления для внедрения в донные отложения колонковых пробоотборников большого диаметра // Тех-

нические проблемы изучения минеральных ресурсов шельфа дальневосточных морей.— Владивосток, 1977.— С. 209—224.

5. Методы изучения уплотнения терригенных пород при палеогеологических реконструкциях.— М.: Наука, 1982.
6. Репечка М. А. Современные донные отложения Японского моря // Вопросы геологии дна Японского моря/ДВНЦ АН СССР.— Владивосток, 1973.— С. 66—90.
7. Структура осадков и фации Японского моря/ДВНЦ АН СССР.— Владивосток, 1983.

ТОИ ДВО АН СССР  
Владивосток

Поступила в редакцию  
1 июня 1990 г.