

УДК 628.394:574(265.54)

**В.Ф. Мишуков¹, В.В. Калинин¹, В.В. Плотников¹,
А.В. Войцыцкий^{2*}**

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;

² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный
университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ВЛИЯНИЕ ДАМПИНГА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД Г. ВЛАДИВОСТОК

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния дампинга загрязненных грунтов из бухты Золотой Рог на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивосток. Для вод Амурского залива показано, что под влиянием гидродинамических условий происходит разнос грунтов на значительные расстояния от центра сброса при накоплении загрязнений в глубоководной и береговой частях залива. Поступление грунтов, содержащих значительные концентрации поллютантов, биогенных элементов и легкоокисляемой органики, играет роль “спускового механизма” в развитии негативных природных процессов, таких как гиперэвтрофикация и гипоксия придонных вод в летний период. Разработана модель расчета полей течений и переноса примесей в результате сброса грунтов, которая показала хорошее описание рассматриваемых экспериментальных данных. Для вод Уссурийского залива результаты расчета полей распространения примесей показали, что в летний период, когда под действием летнего муссона наблюдаются ветры юго-восточного направления, значительная часть сбрасываемых грунтов поступает на акваторию прол. Босфор Восточный, загрязняя бухты Аякс, Парис и Патрокол, где планируется строительство объектов саммита стран АТЭС, Дальневосточного федерального университета и океанариума на о. Русском.

Ключевые слова: дампинг грунтов, загрязнение прибрежной зоны, эвтрофикация, модель расчета переноса примеси.

Mishukov V.F., Kalinchuk V.V., Plotnikov V.V., Voytsytskiy A.V. Effects of polluted grounds dumping on ecological conditions in coastal waters near Vladivostok // *Izv. TINRO*. — 2009. — Vol. 159. — P. 243–256.

Results of experimental study on polluted grounds dumping impact on ecological conditions in coastal waters are presented. The grounds are excavated in the highly polluted Golden Horn Bay and moved to the Amur Bay or Ussuri Bay, where the dumped sediments could be transported on vast distance from the site of dumping under influence of water dynamics with accumulation of pollution both in deeper part

* Мишуков Василий Федорович, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vmishukov@poi.dvo.ru; Калинин Виктор Васильевич, младший научный сотрудник, e-mail: calinchuk@poi.dvo.ru; Плотников Владимир Викторович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru; Войцыцкий Александр Васильевич, соискатель кафедры биоэкологии, e-mail: voitsytskiy@e-mail.ru.

of the bays and in their coastal zone. Inputs of the sediments with high concentrations of pollutants, nutrients, and organics is considered as a «trigger» for development of negative natural processes, such as hyper-eutrophication and hypoxia in bottom water layers in summer. Model of water currents and pollutants transportation is developed and applied for the case of polluted grounds dumping; the model showed good correspondence to the data of observations. Following to the model, in the case of dumping in the Ussuri Bay in summer, the polluted sediments are transported by water currents driven by southeastern winds toward the Bosphorus Eastern Strait where pollute the bays Ayaks, Paris, and Patrokl — the building yards of the objects of APEC summit, oceanarium, and the Far-Eastern federal university.

Key words: dumping, pollution, eutrophication, water dynamics modeling.

Введение

Для нормального функционирования портов г. Владивосток в бухте Золотой Рог необходимо регулярно углублять фарватер, причем извлеченные грунты обычно баржами вывозятся на внешний рейд и сбрасываются в морскую среду. Дампинг производится, как правило, в прибрежной зоне моря, которая наиболее биологически продуктивна и активно используется для отдыха населения. Учитывая, что грунты в бухте загрязнены различными токсичными веществами, в районах морских свалок возможно нарушение жизнедеятельности морских организмов, которые развиваются в донных осадках и придонном слое воды. Дноуглубительные работы и дампинг сопровождаются значительным увеличением мутности морской воды за счет перехода мелкодисперсной фазы материала донных осадков в водную толщу, которая может переноситься морскими течениями на большие расстояния от места сброса, ухудшая экологическое состояние морской среды.

Данная проблема особенно актуальна для Владивостока в связи с планами проведения саммита стран АТЭС в 2012 г., строительством курортно-оздоровительной зоны, Дальневосточного федерального университета и океанариума на о. Русском.

Современные обзоры состояния морской среды на акватории зал. Петра Великого обычно не учитывают поступление загрязняющих веществ при дампинге грунтов из бухты Золотой Рог (Христофорова, 2005; Наумов, 2006; Shulkin et al., 2006; Современное состояние ..., 2008), что свидетельствует о том, что о данной проблеме как бы «забыли».

Цель настоящей работы — анализ информации об объемах сброса загрязненных грунтов, координатах сброса, распределении в донных осадках токсичных металлов и нефтяных углеводородов в районах сброса, а также о влиянии сброса грунтов на гидрохимические свойства морской воды. На основании данной информации проведен расчет переноса взвешенных частиц от районов сброса и оценено их влияние на поступление загрязнения в прибрежную зону зал. Петра Великого Японского моря.

Материалы и методы

Изучение влияния дампинга на экологическое состояние вод Амурского залива было организовано Приморским управлением по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (ПУГКС) Приморского края в виде станции ОГСНК в центре свалки с 1980 по 1984 г. при отборе проб воды с поверхностного (глубина 0 м) и придонного (2 м над дном) горизонтов. В рамках договора о научно-техническом содружестве между ПУГКС и ТОИ ДВО РАН эти данные были переданы в ТОИ ДВО РАН для проведения статистической обработки, результаты которой приведены в ранее опубликованных работах (Гулина и др., 1988; Мишуков и др., 1990).

Кроме этого, начиная с 1984 г. в Дальневосточном региональном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (ДВНИГМИ) был выполнен ряд лабораторных и натурных исследований по изучению влияния дампинга грунтов в

Амурском заливе на распределение загрязняющих веществ в системе грунт — морская вода и в донных осадках в районе дампинга грунтов, часть результатов которых также опубликованы (Ткалин, Шаповалов, 1985; Tkalin et al., 1996).

Экспериментальные исследования были направлены на изучение влияния дампинга на химический состав поверхностного слоя донных осадков. Грунты отбирали прямоочной грунтовой трубкой с пластмассовыми внутренними вкладышами. Для анализа использовался слой 0–2 см. Слой черного грунта измерялся с помощью линейки визуально с точностью ± 1 см.

После тщательного перемешивания отбирали пробу осадка, которую взвешивали до и после высушивания при температуре 95 °С. Анализ загрязняющих веществ на содержание химических элементов проводили по рекомендованной методике (Методические указания ..., 1979). Для анализа на содержание нефтяных углеводородов влажную пробу осадка, измеренной массы, помещали в круглодонную колбу с обратным холодильником, добавляли определенное количество 2 %-ного NaOH в этиловом спирте и проводили гидролиз осадка на водяной бане при температуре 70 °С. Анализ экстракта осуществляли по рекомендованной методике (Методические указания ..., 1979).

В ходе проведения работ при отсутствии результатов химического анализа мы ориентировались по толщине слоя черного ила с песком и ракушечником, который характерен для грунтов бухты Золотой Рог. Данный подход резко расширил площадь изучаемой акватории, так как черные илы наблюдались на значительной площади вдали от центра свалки загрязненных грунтов. В результате были сделаны радиальные разрезы от центра дампинга, которые ограничивались районами, в которых цвет ила становился светло-серым или где наблюдался светлый песок или галечник.

Пробы морской воды отбирались батометром Нискина на поверхностном горизонте и на расстоянии 2 м от дна на станции в центре свалки грунтов с координатами 43°05,12' с.ш. 131°50,60' в.д. Содержание биогенных элементов, кислорода, рН, нефтяных углеводородов (НУ), фенолов и детергентов в морской воде определялось по стандартным методикам (Руководство ..., 1977).

Результаты и их обсуждение

Оценка объемов сброса и координат дампинга

Информация об объемах дноуглубительных работ имеется с 1970 г. (табл. 1), когда районом дампинга являлась западная оконечность мыса Шкота (Амурский залив) с координатами центра свалки: долгота — 43°05,12' с.ш., широта — 131°50,60' в.д. Объем поступления грунтов изменялся от года к году, причем в 1979–1980 гг. очистка бухты Золотой Рог не производилась. Среднее поступление за 12 лет составило приблизительно 214 тыс. м³/год, что при средней плотности осадков 2 т/м³ и при содержании воды в пульпе 75 % соответствует 107000 т/год.

Таблица 1

Объем поступления загрязненных грунтов из бухты Золотой Рог на акваторию Амурского залива Японского моря, тыс. м³/год

Table 1

Annual inputs of polluted grounds from the Golden Horn Bay to the Amur Bay, 10 ³ m ³												
Год	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1981	1982	1983
Объем	449	319	267	136	160	356	23	141	36	290	42	344

Начиная с 1985 г. дампинг грунтов осуществляется на акватории Уссурийского залива восточнее п-ова Жидкова.

Для оценки влияния сброса грунтов на экологию Амурского залива проведем расчет поступления взвешенных веществ с водами самой крупной р. Раз-

дольной. При среднем многолетнем стоке реки 71,9 м³/с и концентрации взвеси — 73*10⁻⁶ т/м³ (Shulkin et al., 2006) получаем величину 453,5 т/сут, или 165700 т/год. Таким образом, дноуглубительные работы в бухте Золотой Рог по объемам поступления взвешенного вещества сравнимы с поступлением взвеси за счет речного стока.

Для оценки поступления загрязняющих веществ используем данные о содержании ряда поллютантов в грунтах бухты Золотой Рог и прол. Босфор Восточный: Fe — 50000,0; Cu — 556,0; Pb — 531,0; Cd — 7,1; Zn — 702,0; Hg — 3,14 мкг/г с.о.; НУ — 2,2 мг/г с.о. (Наумов, 2006).

Оценим вклад дампинга грунтов в поступление ряда поллютантов от различных источников (табл. 2).

Таблица 2

Годовое поступление поллютантов на акваторию Амурского залива
от различных источников, т

Table 2

Annual inputs of pollutants to the Amur Bay from different sources, ton

Источник загрязнения	Fe	Pb	Cd	Mn	Cu	Zn	Ni	НУ	Источник данных
Дампинг	5360	56,8	0,80	—	59,5	75,1	—	235	Наши данные
Реки	8915	7,0	0,06	253,0	5,3	19,2	8,9	344	Shulkin et al., 2006
Атмосфера	—	1,1	1,20	9,8	1,8	3,5	0,5	7	“

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что дампинг грунтов вносит существенный вклад в содержание поллютантов в морской среде Амурского залива.

*Экспериментальное изучение распределения загрязняющих веществ
в районе дампинга*

На рис. 1 приведена морфологическая карта района работ с указанием расположения станций, на рис. 2 — распределение толщины слоя черного ила на изучаемой акватории, в табл. 3 — результаты анализа загрязняющих веществ. Так как центр дампинга находился на глубине 12 м, причем в данном районе отмечается резкий свал глубин, то при сравнении рис. 1 и 2 видно, что грунты как бы “соскальзывают” в более глубокие районы залива, заполняя их черными илами. Кроме того, черные илы наблюдаются и в более мелководных прибрежных районах вблизи центра дампинга. Общая площадь дна с черными илами толщиной 5 см образует квадрат со сторонами 9*9 км².

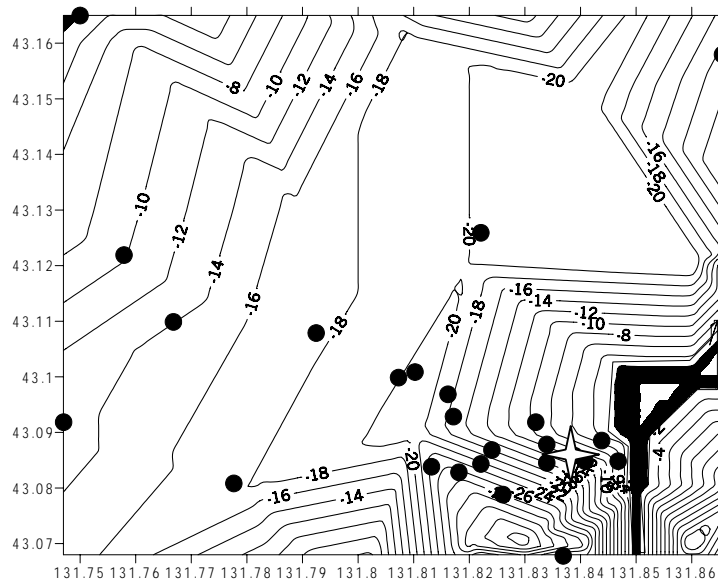


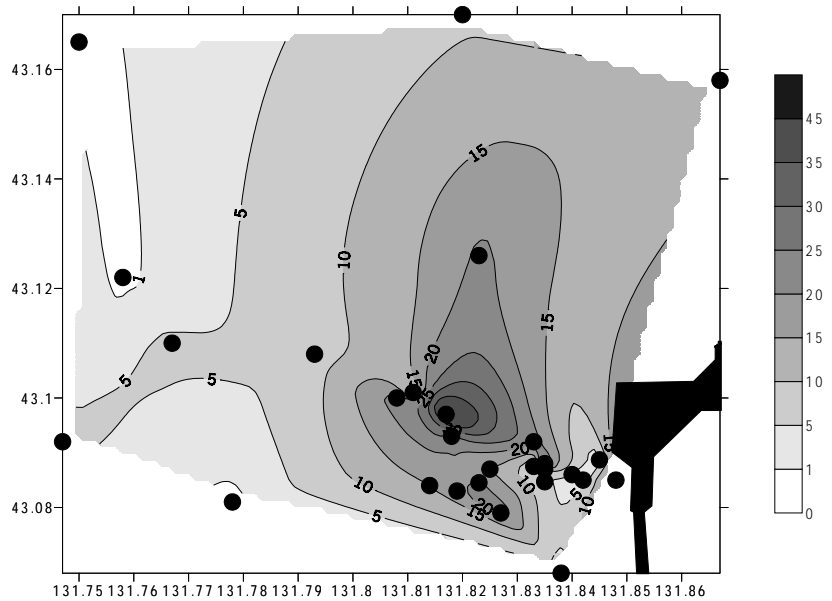
Рис. 1. Распределение на акватории Амурского залива глубин и точек отбора проб грунта (белый крест — центр свалки грунтов)

Рис. 1. Распределение на акватории Амурского залива глубин и точек отбора проб грунта (белый крест — центр свалки грунтов)

Fig. 1. Bathymetry of the Amur Bay and scheme bottom sediments sampling. Site of dumping is shown by white cross

Рис. 2. Распределение на акватории Амурского залива толщины слоя (см) черных илов

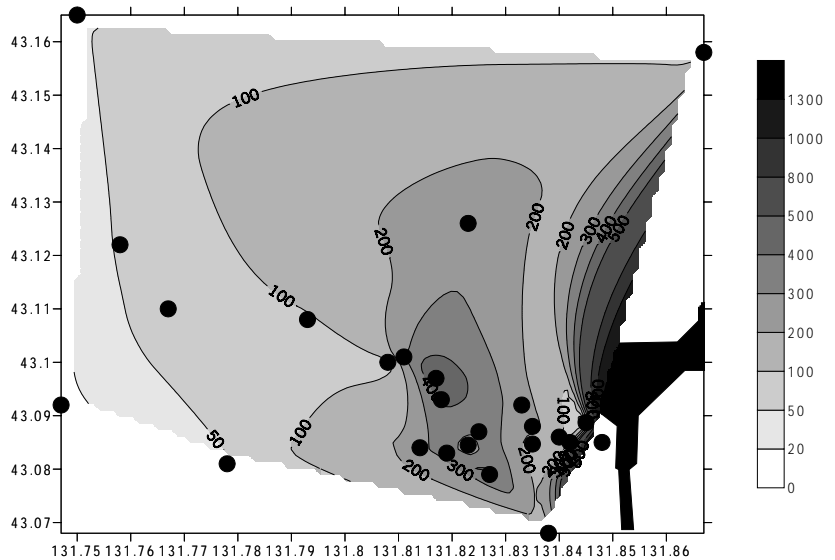
Fig. 2. Thickness of the black silt layer on the Amur Bay bottom, cm



Одним из основных антропогенных загрязнителей являются НУ, распределение концентраций которых приведено на рис. 3. Сравнение с данными рис. 2 о распределении черных илов позволяет сделать вывод о том, что НУ вместе с черными илами под влиянием течений распространяются на большом расстоянии от центра свалки грунтов. Аналогичное распределение имеет Cd (рис. 4) и Zn (рис. 5).

Рис. 3. Распределение на акватории Амурского залива содержания нефтяных углеводородов в поверхностном слое грунтов 0–2 см (мкг/г с.о.)

Fig. 3. Spatial distributions of oil hydrocarbons contents in the surface layer (0–2 cm) of bottom sediments in the Amur Bay ($\mu\text{g/g}$ dry weight)



Подобное распределение нефтяных углеводородов в донных осадках приводится в работе А.П. Черняева (2005) по результатам экспериментальных исследований в мае-июне 2004 г. и свидетельствует об устойчивом загрязнении донных отложений Амурского залива.

Кроме загрязнения донных осадков, сброс грунтов может вызвать изменения в гидрохимическом составе морской воды. На рис. 6 приведены результаты мониторинга концентрации кислорода, рН и некоторых загрязнителей в придонном слое морской воды на станции в центре свалки. В летние месяцы происходит резкое снижение содержания кислорода в придонном слое за счет ограниченного вертикального обмена из-за усиления стратификации морских вод и высокого потребления кислорода на окисление поступившей органики. Кроме этого, к осе-

Таблица 3

Экспериментальные данные по изучению содержания ряда элементов и нефтяных углеводородов в донных осадках в районе дампинга грунтов из бухты Золотой Рог на акватории Амурского залива Японского моря, а также толщины черного ила

Table 3

Some toxic elements and oil hydrocarbons contents in bottom sediments of the Amur Bay at the site of dumping the grounds from the Golden Horn Bay relative to the thickness of black silt layer

Дата	№ ст.	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Слой, см	Zn, мкг/г	Mn, мкг/г	Co, мкг/г	Cd, мкг/г	Cu, мкг/г	Pb, мкг/г	Ni, мкг/г	Fe, мкг/г	Sr, мкг/г	HУ, мкг/г	K, мкг/г	Li, мкг/г	Слой черного ила, см
11.07.84	1	43,085	131,842	25	2	154	133	13	13	16	332	5	67	13	94	1969	8	1
11.07.84	2	43,086	131,840	25	2	673	88	13	12	17	5	9	58	28	100	1818	8	4
11.07.84	3	43,087	131,835	25	2													2
11.07.84	4	43,0875	131,833	24	2													4
11.07.84	5	43,0887	131,845	25	2	167	69	13	12	20	170	5	107	46	25	4632	16	2
11.07.84	6	43,068	131,838	27	2	147	98	13	13	33	403	3	82	38	126	2404	8	2
12.07.84	21	43,097	131,817	25	2	156	98	14	14	46	190	7	127	34	515	4655	16	49
12.07.84	22	43,093	131,818	23	2	115	77	14	16	28	365	3	87	41	416	3921	15	22
12.07.84	23	43,092	131,833	22	2	141	91	14	13	31	341	3	145	37	247	3803	13	22
12.07.84	24	43,088	131,835	20	2	96	68	13	13	23	10	5	82	22	249	3213	11	28
12.07.84	25	43,083	131,819	20	2	92	66	13	13	25	301	2	115	38	419	4241	15	19
17.07.84	31	43,085	131,848	21	2	192	67	14	12	24	2	0	91	24	1983	3859	15	25
17.07.84	32	43,0847	131,835	22	2	129	65	14	15	28	14	2	102	38	130	4286	16	6
17.07.84	33	43,0845	131,823	23	2	204	78	15	12	29	10	3	115	31	168	4395	17	21
17.07.84	34	43,087	131,825	24	2	314	59	14	9	33	15	4	86	23	366	3547	13	15
17.07.84	35	43,079	131,827	28	2	124	86	14	13	32	113	15	106	41	437	4234	15	23
19.07.84	41	43,101	131,811	21	2	111	71	14	14	24	109	2	117	37	294	5000	20	10
19.07.84	42	43,100	131,808	22	2	281	61	15	9	21	17	6	100	25	61	4926	17	23
19.07.84	43	43,084	131,814	25	2	409	72	13	9	31	27	4	72	22	239	3009	13	15
20.07.84	51	43,122	131,758	14	2	141	73	14	14	18	800	2	132	38	54	4269	19	0
20.07.84	52	43,165	131,750	19	2	121	78	14	13	21	82	1	135	29	43	4264	18	0
20.07.84	53	43,108	131,793	22	2	184	72	13	13	21	330	3	129	39	92	4504	19	7
20.07.84	54	43,081	131,778	18	2	66	47	14	13	13	103	6	58	24	48	2533	11	0
20.07.84	55	43,126	131,823	21	2	100	50	14	13	23	134	5	46	24	270	2295	8	21
31.07.84	61	43,158	131,867	16	2	26	48	13	11	9	20	6	46	34	89	2398	8	10
31.07.84	62	43,170	131,820	22	2													9
31.07.84	63	43,110	131,767	19	2	62	65	13	11	16	13	3	136	47	70	4092	17	6
31.07.84	64	43,092	131,747	17	2	88	81	13	12	23	15	2	131	49	11	4321	16	6

ни в придонном слое морской воды происходит увеличение содержания нефтяных углеводородов, которые поступают вместе с грунтами, и фенолов, которые образуются за счет окисления органического вещества.

Рис. 4. Распределение на акватории Амурского залива содержания Cd в поверхностном слое грунтов 0–2 см (мкг/г с.о.)

Fig. 4. Spatial distributions of Cd concentration in the surface layer (0–2 cm) of bottom sediments in the Amur Bay ($\mu\text{g/g}$ dry weight)

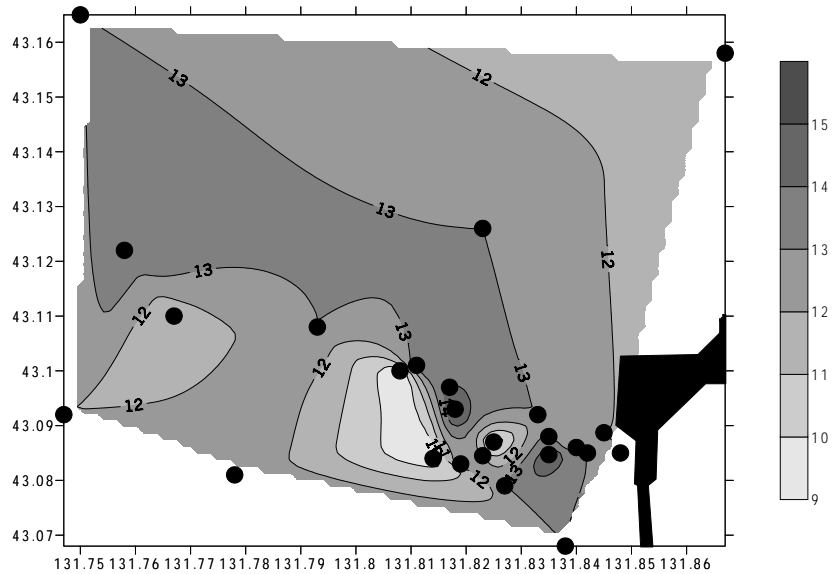
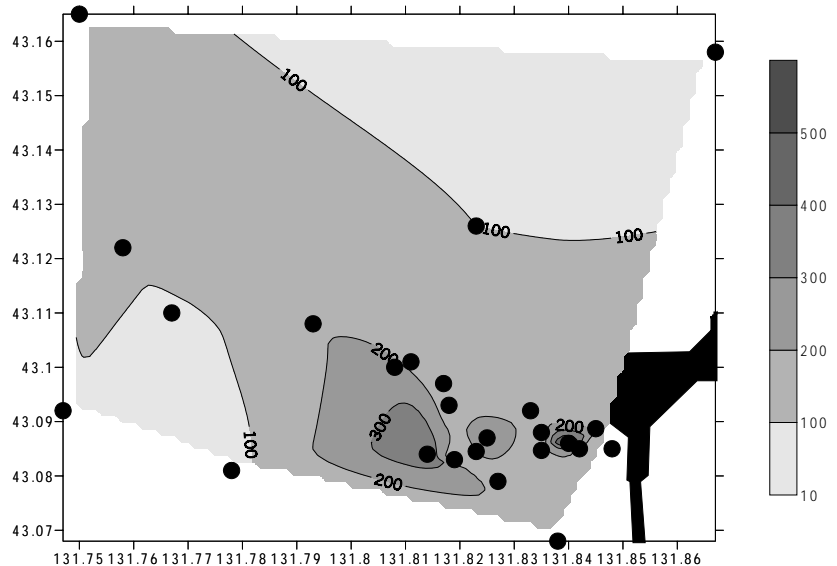


Рис. 5. Распределение на акватории Амурского залива содержания Zn в поверхностном слое грунтов 0–2 см (мкг/г с.о.)

Fig. 5. Spatial distributions of Zn concentration in the surface layer (0–2 cm) of bottom sediments in the Amur Bay ($\mu\text{g/g}$ dry weight)



Сравнение гидрохимических характеристик поверхностных и придонных вод приведено на рис. 7. При сравнении концентрации кислорода на поверхности и в придонном горизонте (рис. 7, а) отмечается резкое снижение его содержания в летний период у дна, хотя на поверхности морская вода находится в насыщенном состоянии. В осенне-зимний период за счет конвекции происходит разрушение летней стратификации морских вод при активном вертикальном перемешивании всего слоя до дна с последующим горизонтальным переносом за счет адвекции и турбулентного перемешивания. Аналогичное сезонное распределение кислорода в глубоководных районах Амурского залива отмечено при обработке массива гидрохимических данных вплоть до 2001 г. (Лучин и др., 2005).

Кроме этого, в 1981 и 1983 гг., когда отмечался интенсивный выброс грунта (см. табл. 1), происходило резкое увеличение аммонийного азота на придонном горизонте, что свидетельствует об эвтрофикации придонных вод на фоне снижения

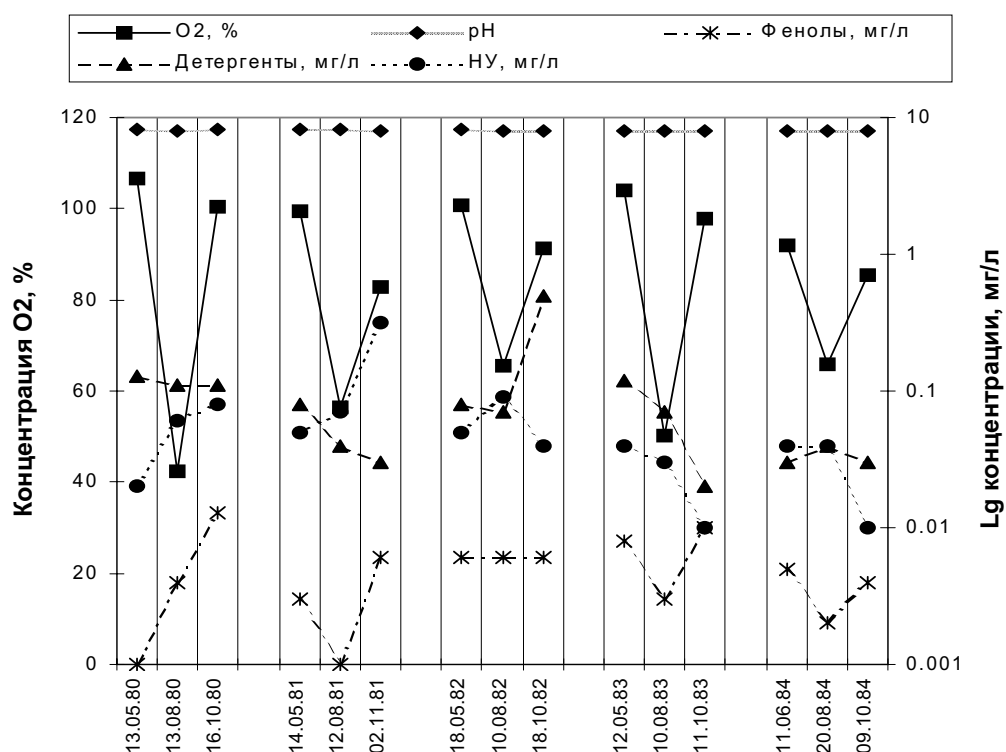


Рис. 6. Изменение концентрации кислорода (% насыщения, левая ось), pH, фенолов (мг/л), детергентов (мг/л) и нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое морской воды в районе дампинга грунтов из бухты Золотой Рог около п-ова Шкота

Fig. 6. Temporal changes of oxygen saturation (% , left axis), pH, and contents of phenols (mg/l), detergents (mg/l), and oil hydrocarbons (mg/l) in water at the sea bottom in the site of damping the grounds from the Golden Horn Bay (near Shkot Peninsula)

уровня кислорода. Отметим, что данные процессы сопровождаются пышным развитием фито- и зоопланктона в поверхностном слое морских вод, который при последующем отмирании выпадает на дно, значительно усиливая негативные процессы. Несмотря на увеличение фитопланктона в поверхностных водах в летнее время, не происходит значительного уменьшения концентрации общего фосфора, нитратов и силикатов, что свидетельствует об отсутствии контролирующего влияния биогенов на развитие фитопланктона. В этих условиях ограничение на фитопланктон может оказывать только понижение температуры и, как следствие, периодическое ежегодное летнее развитие дефицита кислорода в придонном слое морских вод (см. рис. 6, 7, а), что было отмечено при недавнем исследовании состояния экосистемы Амурского залива (Тищенко и др., 2009). Кроме этого, в районе расположения слоя черных илов (см. рис. 2) наблюдается понижение биомассы, а иногда и полное отсутствие двустворчатых моллюсков, например в исследованиях 1986–1994 гг. (Олейник, 1998). В более позднем изучении макрозообентоса зал. Петра Великого (Надточий и др., 2005) при более равномерной сетке отбора проб выявлено увеличение числа видов и биомассы макрозоопланктона на всей акватории, включая Амурский залив, хотя в районах дампинга грунтов около п-овов Шкота и Жидкова биомасса двустворчатых моллюсков остается на минимальном уровне.

Следует отметить, что влияние дампинга грунтов происходит на фоне возрастающего антропогенного стресса в результате роста численности населения, развития промышленности и сельского хозяйства как на побережье, так и в районах водосбора впадающих рек. Тем не менее сброс грунтов, по-видимому, сыграл роль “спускового механизма” и вызвал каталитическое воздействие на развитие негативных природных процессов, таких как гиперэвтрофикация и гипоксия придон-

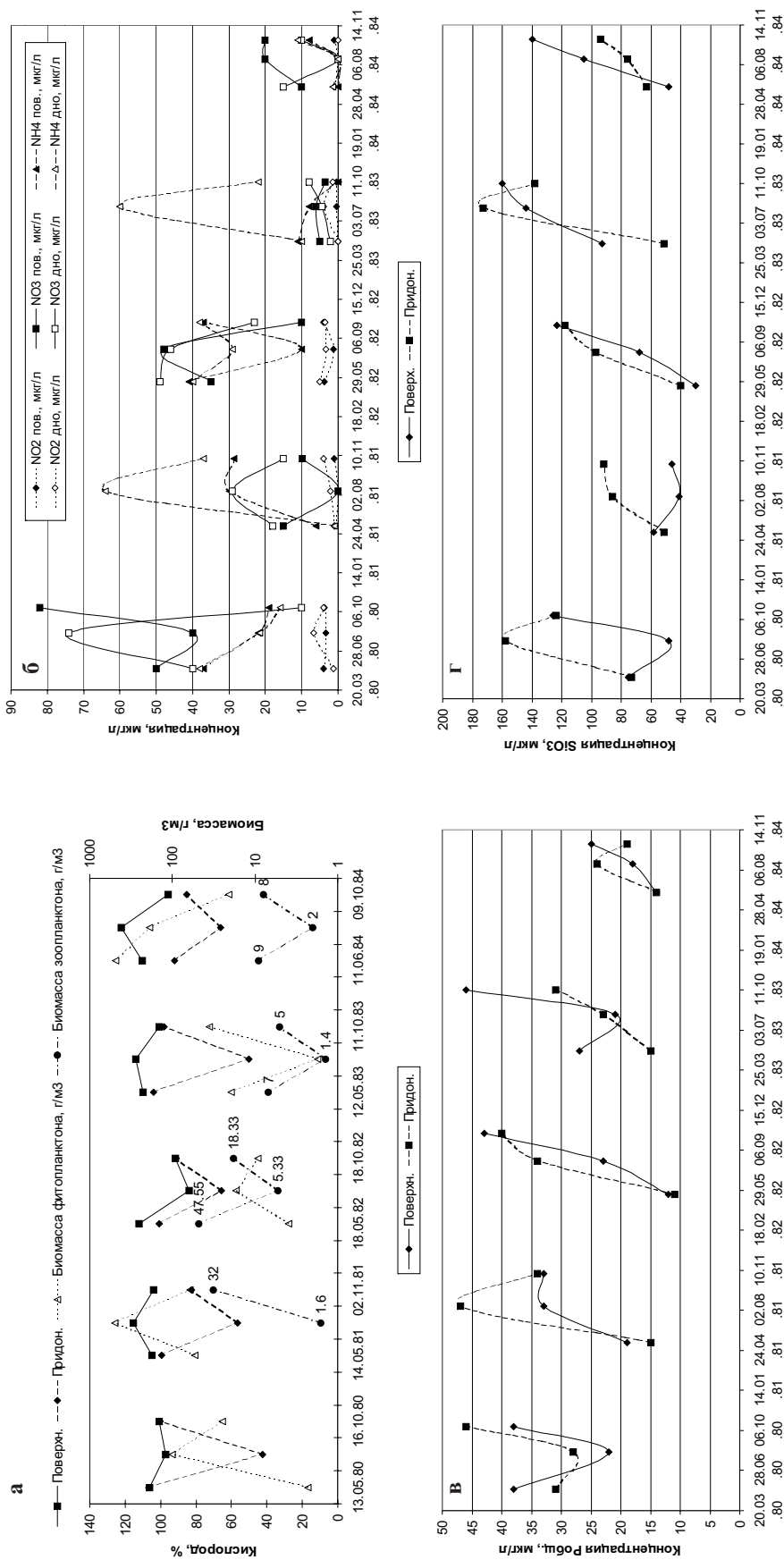


Рис. 7. Временное изменение концентраций в поверхностном и придонном слоях морской воды на станции около п-ова Шкота в районе дамбына грунтов из бухты Золотой Рог: **а** — кислород и биомассы фито- и зоопланктона; **б** — нитритов, нитратов и аммонийного азота; **в** — общего фосфора; **г** — силикатов

Fig. 7. Temporal changes of dissolved oxygen and nutrients concentrations in the surface and bottom water layers in the site of damping the grounds from the Golden Horn Bay (near Shkot Peninsula): **а** — oxygen; **б** — nitrites, nitrates, ammonium nitrogen; **в** — total phosphorus; **г** — silicates

ных вод, что было отмечено в ряде работ в Черном, Балтийском, Баренцевом, Белом и Японском морях (Виноградова и др., 1986, 1990; Шлыгин, 1986).

Таким образом, представленные экспериментальные данные показывают, что сброс загрязненных грунтов оказывает существенное влияние на химический состав грунтов и придонного слоя воды. Анализ приведенных материалов показал, что самым опасным следствием сброса грунтов, загрязненных токсичными веществами и легкоокисляемой органикой, является “раскачка” экосистемы, которая при увеличении размаха колебаний регистрируемых параметров приводит к возникновению негативных ситуаций в последующие годы.

Моделирование переноса грунтов в районах дампинга

Представленные экспериментальные данные позволяют провести проверку модели переноса грунтов, разработанную в ТОИ ДВО РАН. Описание схемы расчета полей течений и распространения нефтяных загрязнений приведено ранее (Мишуков и др., 2007), причем приведены данные о средних и экстремальных гидрометеорологических условиях для рассматриваемого региона. Модель была доработана для расчета распространения взвешенных частиц, которые могут в процессе движения перемещаться по вертикали за счет седиментации более тяжелых частиц взвеси, а также за счет перемешивания благодаря процессам вертикальной турбулентной диффузии.

Взвесь разбивалась на 10 фракций в соответствии с гранулометрическим составом (табл. 4). Как показали результаты лабораторных исследований скорости осаждения грунтов из бухты Золотой Рог при их взмучивании с морской водой, основную часть взвешенного вещества представляют алевритопелитовые и пелитовые илы с размерами частиц от 1 до 50 мкм (Ткалин, Шаповалов, 1985).

Таблица 4
Физико-химические свойства фракций грунтов из бухты Золотой Рог

Table 4
Physical and chemical properties of sediment fractions from the Golden Horn Bay

Свойство фракций	Диаметр фракций, мкм									
	10000–5000	5000–2000	2000–1000	1000–500	500–250	250–100	100–50	50–10	10–5	5–1
Сред. диаметр фракций, мкм	7500,0	3500,0	1500,0	750,0	375,0	175,0	75,0	30,0	7,5	2,5
Плотность фракций, кг/м ³	2680	2500	2400	1920	1800	1730	1730	1600	1410	1410
Удельная доля фракций, % (вес)	1,39	1,58	1,67	1,71	2,73	5,83	12,91	27,18	28,0	17,0

При оседании на дно и при достижении берега частицы взвеси с вероятностью 90 % могут переходить из водной среды в твердую фазу осадков.

Для моделирования влияния выбросов загрязненного нефтепродуктами грунта из бухты Золотой Рог при производстве дноуглубительных работ, которые выполняются при сравнительно благоприятных погодных условиях, принимался следующий сценарий выбросов. В летне-осенний период, с мая по октябрь (180 дней), баржа с 1000 м³ грунтовой пульпы выходит раз в сутки в район сброса грунтов и однократно сбрасывает весь грунт, который в расчетах разбивается на 10 маркеров по 100 т. Грунт оседает на дно с вероятностью 90 %. Остальная часть грунта движется с водной массой, постепенно осаждаясь, или выносится на берег. Расчет проводится на определенное количество суток, хотя основная масса грунта оседает на дно в течение первых 10 ч. На рис. 8 представлены результаты расчета для июля 1983 г. при экспериментальных гидрометеорологических условиях. Пятна взвешенного вещества дрейфуют почти по всей акватории

рии Амурского залива, оседая в основном в месте сброса, причем вынос на берег наблюдается на всем западном побережье п-ова Муравьева-Амурского.

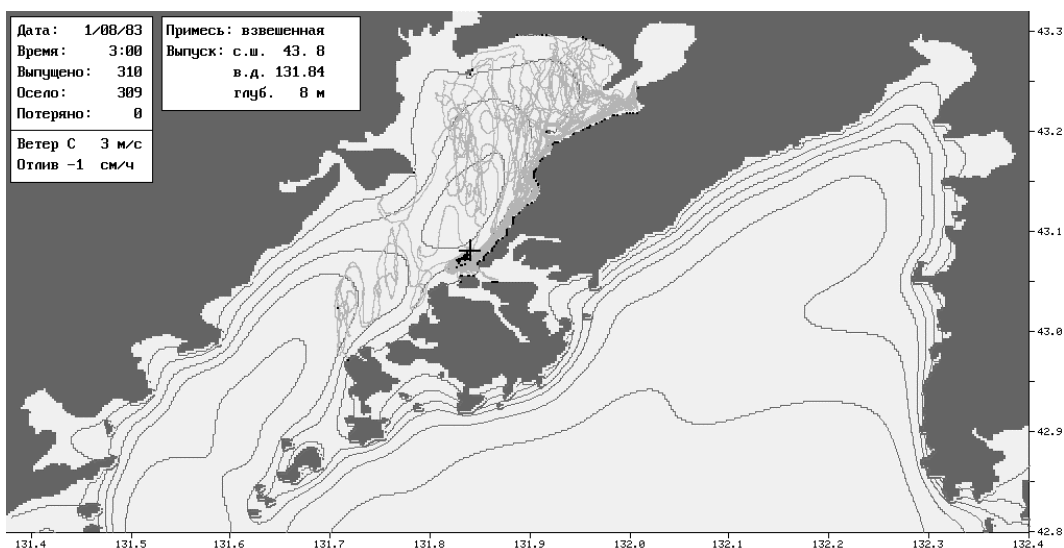


Рис. 8. Траектории движения пятен грунта (светло-серые области и линии) на акватории Амурского залива из района свалки грунтов (черный крест) в июле 1983 г. при реальных ветрах и распределение пятен на конец расчета (черные точки) (темно-серые линии — изобаты)

Fig. 8. Modeled trajectories of the spots of polluted sediments movement (light gray fields and lines) from the site of dumping in the Amur Bay (black cross) in July, 1983. Real wind field is used for calculation; the final distribution of spots (black points) is determined by surveys. Isobaths are drawn as dark gray lines

Сравнение расчетного распространения переноса грунтов, приведенного на рис. 9 (а), с реальными данными рис. 2 и 3 показали, что в обоих случаях наблюдается значительный перенос загрязненных грунтов при их сползании в глубоководную часть залива и при осадении вдоль западной береговой линии п-ова Муравьева-Амурского, а разработанная модель хорошо описывает экспериментальные данные. Аналогичный расчет был проведен и для выноса взвешенного вещества с водами р. Раздольной, когда взвесь непрерывно в течение июля 1983 г. поступала на акваторию Амурского залива (рис. 9, б). Взвешенное вещество в основном оседает в устье р. Раздольной при основном переносе вдоль западного побережья залива при формировании вторичного источника взвеси на оконечности п-ова Песчаного, от которого взвесь транзитом переносится над глубоководными районами залива и оседает на противоположном берегу.

С 1985 г. дампинг грунтов производился в Уссурийском заливе, но в настоящее время нет данных об объемах сбросов. Для оценки влияния дампинга грунтов в Уссурийском заливе мы принимали среднегодовые поступления для Амурского залива. Принимался следующий сценарий выбросов. В период с 17 по 27 июля 2008 г. (10 дней) баржа с 1000 м³ грунтовой пульпы выходит раз в сутки в район сброса грунтов и однократно сбрасывает весь грунт, который в расчетах разбивается на 100 маркеров по 10 т. Грунт оседает на дно с вероятностью 90 %. Остальная часть грунта движется с водной массой, постепенно оседаясь, или выносится на берег. Расчет проводится на 10 сут, хотя основная масса грунта оседает на дно в течение первых 10 ч при ветре 5 м/с юго-восточного направления, который характерен для летнего муссона.

На рис. 10 приведены результаты расчета для северо-западного угла района сброса грунтов. Под влиянием ветра и круговорота вод в восточной части прол. Босфор Восточный (рис. 10) взвесь проникает в пролив и выносится в прибреж-

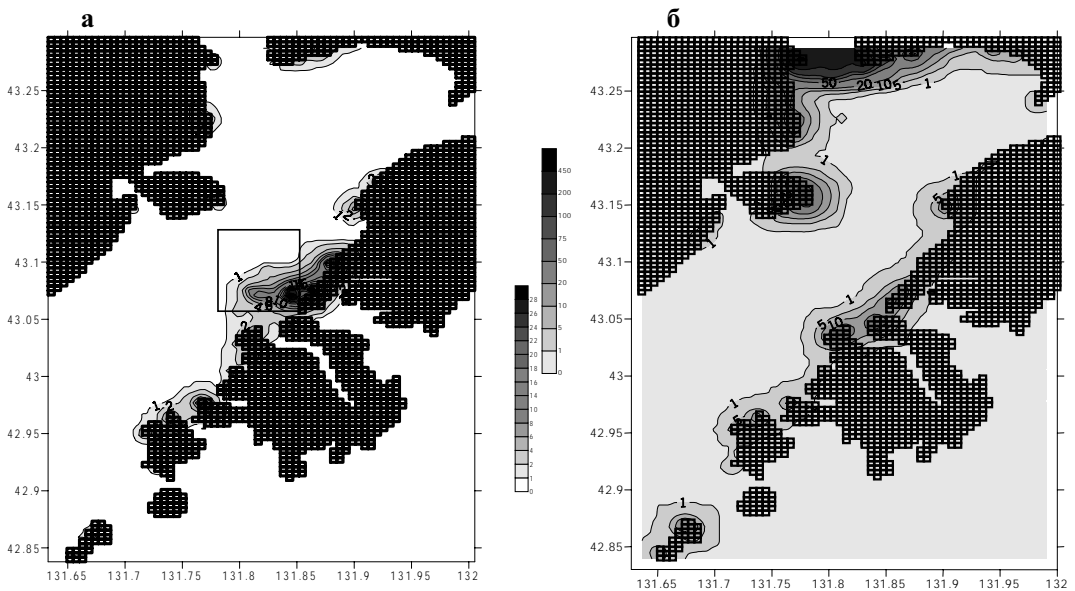


Рис. 9. Обработка данных с помощью программы Serfer для построения изолиний количества пятен грунта, осевших на дно и в береговой зоне: **а** — данные для района дампинга для рис. 7 при расчете для июля 1983 г. при экспериментальных гидрометеоусловиях для сравнения с рис. 2 и 3 (черный квадрат — район экспериментальных работ); **б** — данные при поступлении взвеси с водами р. Раздольной при расчете для июля 1983 г. при экспериментальных гидрометеоусловиях

Fig. 9. Scheme of data processing for modeling: **a** — the case of July, 1983 (black square — surveyed area); **b** — the same with loading the data on suspended matter input from the Razdolnaya River

ную зону в основном южной оконечности п-ова Муравьева-Амурского, попадая в бухты Патрокол, Аякс и Парис (северные бухты о. Русского), а также в бухты Соболев и Тихая, хотя основная масса взвеси оседает на дно около точки сброса.

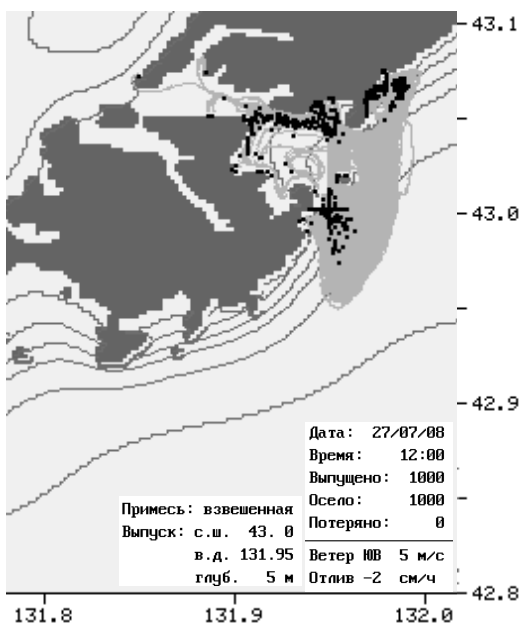


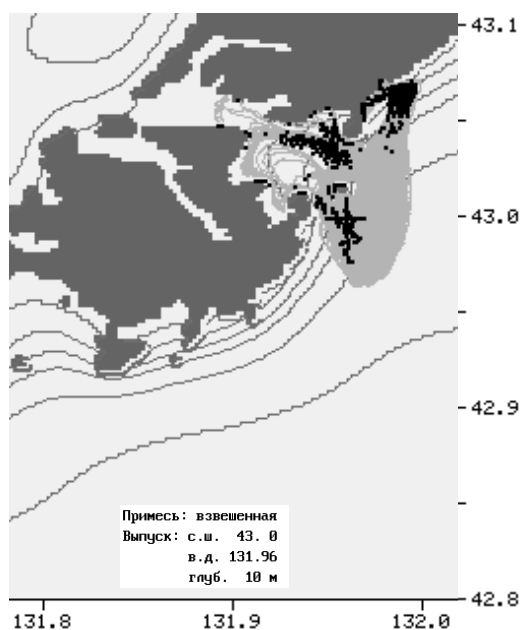
Рис. 10. Траектории движения пятен грунта (светло-серые области и линии) на акватории зал. Петра Великого из северо-западного угла свалки грунтов (черный крест) с 17 по 27.07.08 г. при ветре 5 м/с и направлении 140° и распределение пятен на конец расчета (черные точки) (темно-серые линии — изобаты)

Fig. 10. Modeled trajectories of the spots of polluted sediments movement (light gray fields and lines) from the site of dumping in the north-western Amur Bay (black cross) in July 17–27, 2008 under southeastern (140°) wind 5 m/s. Final distribution of spots is shown as black points; isobaths are drawn as dark gray lines

На рис. 11 приведены результаты расчета взвеси из северо-восточного угла полигона. Наблюдается подобная картина распределения выброшенных грунтов, но ареал распространения шире.

Рис. 11. Траектории движения пятен грунта (светло-серые области и линии) на акватории зал. Петра Великого из северо-восточного угла свалки грунтов (черный крест) с 17 по 27.07.08 г. при ветре 5 м/с и направлении 140° и распределение пятен на конец расчета (черные точки) (темно-серые линии — изобаты)

Fig. 11. Modeled trajectories of the spots of polluted sediments movement (light gray fields and lines) from the site of dumping in the north-eastern Amur Bay (black cross) in July 17–27, 2008 under southeastern (140°) wind 5 m/s. Final distribution of spots is shown as black points; isobaths are drawn as dark gray lines



Таким образом, новое место дампинга грунтов вызывает загрязнение Уссурийского залива, прол. Босфор Восточный с прилегающими бухтами Аякс, Парис, Патрокол. Для обеспечения нормального функционирования курортно-оздоровительной зоны, Дальневосточного федерального университета и океанариума на о. Русском необходимо переместить район дампинга грунтов в более мористую часть Уссурийского залива, хотя кардинальным решением является полная очистка грунтов из бухты Золотой Рог.

Выводы

Представленные экспериментальные результаты и данные математического моделирования показали:

1) дноуглубительные работы в бухте Золотой Рог по объемам поступления взвешенного вещества сравнимы с поступлением взвеси за счет речного стока на акваторию Амурского и Уссурийского заливов;

2) при дампинге грунтов на акватории зал. Петра Великого происходит активный разнос грунта на большие расстояния от точки сброса, причем вместе с грунтами происходит перенос основных загрязняющих веществ;

3) в районе сброса грунтов наблюдается систематическое летнее резкое падение содержания кислорода в морской воде и увеличение концентрации нефтяных углеводородов и фенолов;

4) разработана модель расчета течений и дрейфа примеси на акватории Уссурийского залива и проведена проверка ее достоверности по имеющимся экспериментальным данным;

5) для обеспечения нормального функционирования курортно-оздоровительной зоны, Дальневосточного федерального университета и океанариума на о. Русском необходимо переместить район дампинга грунтов в более мористую часть Уссурийского залива, хотя кардинальным решением является полная очистка грунтов из бухты Золотой Рог.

Настоящая работа проведена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 06-05-91577-ЯФ_а и грантов ДВО РАН № 06-Ш-Б-09-409, № 07-III-Б-09-101, № 08-III-Б-09-107.

Список литературы

Виноградова Л.А., Дерезюк Н.В., Рязанова Л.Е. Результаты экологического мониторинга в районах сброса грунтов в северо-западной части Черного моря по данным

- 1986–1987 гг. // Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химических загрязнений. — М. : Гидрометеиздат, 1990. — С. 161–166.
- Виноградова Л.А., Фетисов Л.П., Дерезюк Н.В., Тишин А.В.** Моделирование влияния дампинга грунтов, содержащих биогенные элементы, на кислородный режим прибрежной зоны моря // Методология прогнозирования загрязнения океанов и морей. — М. : Гидрометеиздат, 1986. — С. 119–123.
- Гулина Г.Н., Мишуков В.Ф., Моисеевский Г.Н., Ярош В.В.** Факторный анализ океанологических полей прибрежной зоны // ДАН СССР. — 1988. — Т. 298, № 5. — С. 1238–1242.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Круц А.А.** Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 130–169.
- Методические указания по определению загрязняющих веществ в морских донных отложениях № 43.** — М. : Гидрометеиздат, 1979. — 31 с.
- Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Мишукова Г.И.** Модель расчета переноса и трансформации нефтяного загрязнения в дальневосточных морях (на примере залива Петра Великого Японского моря) // Дальневосточные моря России : в 4 кн. / гл. ред. В.А. Акуличев. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / отв. ред. В.П. Челомин. — М. : Наука, 2007. — С. 267–298.
- Мишуков В.Ф., Мишукова Г.И., Моисеевский Г.Н., Ярош В.В.** Исследование параметров экосистемы Амурского залива Японского моря с помощью факторного анализа // Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химических загрязнений. — М. : Гидрометеиздат, 1990. — С. 118–120.
- Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Р.Г.** Макрозообентос залива Петра Великого (Японское море): состав, распределение, ресурсы // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 170–195.
- Наумов Ю.А.** Антропогенез и экологическое состояние геосистемы прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря : монография. — Владивосток : Дальнаука, 2006. — 300 с.
- Олейник Е.В.** Исследование состояния сообществ двустворчатых моллюсков в Амурском заливе // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду. — Владивосток : Дальнаука, 1998. — С. 131–136.
- Руководство по методам химического анализа морских вод.** — Л. : Гидрометеиздат, 1977. — 208 с.
- Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря :** монография / гл. ред. академик РАН В.А. Акуличев. — М. : ГЕОС, 2008. — 460 с.
- Тищенко П.Я., Звалинский В.И., Лобанов В.Б. и др.** Основные факторы ухудшения экологического состояния Амурского залива (по результатам наблюдений ТОИ ДВО РАН 2005–2008 гг.) // Природа без границ : мат-лы 3-го Междунар. экол. форума. — Владивосток : ДВГУ, 2009. — С. 126–128.
- Ткалин А.В., Шаповалов Е.Н.** Поступление нефтяных углеводородов в морскую среду при взмучивании загрязненных донных отложений // Океанология. — 1985. — Т. 25, вып. 5. — С. 775–779.
- Христофорова Н.К.** Экологические проблемы региона Дальний Восток — Приморье : монография. — Хабаровск : Хаб. краевая типогр., 2005. — 304 с.
- Черняев А.П.** Распределение нефтяных углеводородов в воде в донных отложениях Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 240–244.
- Шлыгин И.А.** Разработка научных обоснований возможности сбросов отходов и других материалов с минимальным ущербом для морской среды. Результаты исследования районов морей и океанов для регламентируемых сбросов отходов и других материалов // Методология прогнозирования загрязнения океанов и морей. — М. : Гидрометеиздат, 1986. — С. 113–118.
- Shulkin V.M., Semykina G.I., Kachur A.N.** National Report of Russian Federation on River and direct Inputs of Contaminants into Marine and Coastal Environment in NOWPAP Region // National Report on River and direct Inputs of Contaminants into Marine and Coastal Environment in NOWPAP Region / ред. А.Н. Качур, С.И. Коженкова. — Владивосток : ДВГУ, 2006. — С. 211–256.
- Tkalin A.V., Presley B.J., Boothe P.N.** Spatial and temporal variation of trace metals in bottom sediments of the Peter the Great Bay, the Sea of Japan // Environmental Pollution. — 1996. — Vol. 92. — P. 73–78.