

УДК 504.064.36:629.12 (265.53)

UDC 504.064.36:629.12 (265.53)

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЛЕЙ  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ СУДОВЫХ ВОД  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЙ  
В МОРИСТЫХ РАЙОНАХ ЗАПАДНОЙ  
КАМЧАТКИ**

**METHODS OF PERFORMING  
CALCULATIONS FOR ASSESSMENT THE  
SHIP'S WASTEWATER FIELDS DRIFTING  
UNDER THE INFLUENCE OF WINDS AND  
CURRENTS IN THE SEAWARD DISTRICTS OF  
WESTERN KAMCHATKA**

Касперович Екатерина Владимировна  
ФГУ «Камчаттехмордирекция»,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

Kasperovich Ekaterina Vladimirovna  
State federal organization «Kamchatka's direction for  
technical supply of sea supervision»,  
Petropavlovsk-Kamchatski, Russia

Ковбасюк Владимир Васильевич  
ГУ «КамчатскоеУГМС»,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

Kovbasuk Vladimir Vasilyevich  
Main branch of a Kamchatka's filial of Rosgidromet  
Petropavlovsk-Kamchatski, Russia

Арчибисов Дмитрий Александрович  
ФГУ «Камчаттехмордирекция»,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

Archibisov Dmitry Alexandrovich  
State federal organization «Kamchatka's direction for  
technical supply of sea supervision»,  
Petropavlovsk-Kamchatski, Russia

В статье показана методика проведения расчета результирующего переноса загрязнений, сбрасываемых с судовыми стоками флота рыбной промышленности в море. Приведены формулы для получения перемещения полей загрязненных судовых вод в мористых районах западной Камчатки. Представлены результаты расчетов по определению направления (румб и градус) суммарного вектора ветра и его средней месячной скорости на расстоянии 50 км от западного побережья Камчатки на траверзе береговых гидрометеорологических станций (ГМС). Проведен анализ полученных результатов, на основе которого сделан вывод о возможности достижения полями судовых стоков западного берега Камчатки и его загрязнение

The article describes the method of performing calculation the resultant drifting of pollution discharged into the sea as wastewaters of fishing ships. It presented formulas for discovering the drifting of ship's waste water fields in the seaward districts of western Kamchatka. Results of calculation the wind's summary vector at 50 km distance from the shore meteorological stations of western Kamchatka based on direction (compass point and degree) and average monthly speed are presented. The analysis of these results gives the conclusion that waste water fields from the ships could reaching western shore of Kamchatka and pollute it

Ключевые слова: СУДА, ФЛОТ, СТОКИ, ЛЬЯЛЬНЫЕ ВОДЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА, ОХОТСКОЕ МОРЕ

Keywords: SHIPS, FLEET, WASTE WATERS, BILGE WATERS, POLLUTION, DRIFTING, WESTERN KAMCHATKA, SEA OF OKHOTSK

Известно, что загрязняющие вещества в составе сточных вод стационарных источников сброса (буровых платформ, прибрежных поселений и т. д.) способны трансформироваться в морской среде и переноситься системами течений на достаточно большие расстояния [12, 15 и др.]. Однако при моделировании антропогенного влияния на морскую среду не рассматривается перемещение полей судовых стоков по открытому морскому пространству при хозяйственной деятельности рыбопромыслового флота. Современные исследования в области физико-химических процессов

[11, 16, 17 и др.], происходящих с антропогенным загрязнением на поверхности моря, направлены на моделирование переноса и трансформации сырой нефти, разлитой в режиме аварийной ситуации и при наиболее неблагоприятных гидрометеорологических и климатических условиях [14] конкретного участка моря.

Между тем, во время промысла на открытом пространстве Охотского моря, интенсивность судоходства, показатель концентрации судов, а, следовательно, и совокупный сброс загрязняющих веществ, содержащихся в составе судовых стоков, включая льяльные воды, могут быть весьма значительными. Сбросы загрязняющих веществ неизбежно приводят к ухудшению экологической ситуации и в конечном итоге – снижению численности биоресурсов. В настоящее время данный аспект негативного воздействия объектов транспорта на море не достаточно изучен. Автором работы [8], разработана методика, позволяющая учитывать подобное воздействие от множества передвижных источников загрязнения, находящихся на определенной акватории, и показано, что в окружающую среду промысловых районов у Камчатского шельфа со стоками судов сбрасываются в значительных количествах загрязняющие вещества.

На протяжении 1984–2010 гг. ГУ «Камчатское УГМС» проводит по Методике [2] краткосрочное прогнозирование распространения по акватории прикамчатских вод нефтепродуктов разлитых в режиме аварийной ситуации. Однако прогнозирование перемещения полей судовых стоков при повседневной деятельности флота не проводится. Поэтому не известны направление и скорость переноса загрязненных полей судовых вод по акватории биопродуктивных районов Камчатского шельфа. На основе Методики [2] предложены расчеты, формулы и предварительная оценка результирующего переноса (помесечно) стоков рыбопромыслового и обслуживающего флота, под действием ветра и течений в мористых районах западной Камчатки при характерных гидрометеорологических условиях.

### Методика расчета переноса загрязнений, сбрасываемых с судовыми стоками флота рыбной промышленности

Согласно Методике [2] основными факторами, определяющими перемещение нефтяного пятна, являются ветровой дрейф и течения неветрового происхождения. При этом приращение координат центра пятна  $\vec{\Delta}(x, y)$  за время  $\Delta t$  рассчитывается по формуле:

$$\vec{\Delta}(x, y) = \sum_n \vec{v}_n \Delta t, \quad (1)$$

где  $\sum_n \vec{v}_n \Delta t$  – сумма векторов средней скорости за время  $\Delta t$ . Согласно [2]

сумма векторов средней скорости  $\sum_n \vec{v}_n$  находится по формуле:

$$\sum_n \vec{v}_n = \vec{v}_{др.} + \vec{v}_{np.} + \vec{v} + \vec{v}', \quad (2)$$

где  $\vec{v}_{др.}$  – скорость дрейфа;  $\vec{v}_{np.}$  – скорость приливного течения;  $\vec{v}$  – составляющая средней скорости поверхностного течения, не зависящая от ветра в данный момент и не приливно-отливная (например, компенсационные, стоковые, бароградиентные, термохалинные составляющие скорости);  $\vec{v}'$  – случайная составляющая средней скорости поверхностного течения. Скорость приливного течения ( $\vec{v}_{np.}$ ) определяется по методу Раттри или вычисляется по гармоникам, которые в свою очередь, рассчитываются штурманским методом по [18].

Согласно Методике [2] скорость дрейфа определяется по формуле:

$$\vec{v}_{др.} = \vec{v}_{др.пл.} + \vec{v}_{др.т.}, \quad (3)$$

где  $\vec{v}_{др.пл.}$  – скорость «скольжения поверхностно-активной пленки», при ее наличии;  $\vec{v}_{др.т.}$  – скорость дрейфового течения. Скорость скольжения пленки ( $\vec{v}_{др.пл.}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\vec{v}_{др.пл.} = \varpi \vec{W}, \quad (4)$$

где  $\vec{W}$  – средняя за рассматриваемый период скорость ветра;  $\varpi$  – ветровой коэффициент для пленки, равный в случае нефтяной пленки в среднем 0,04.

Для прогнозирования результирующего переноса загрязнений, сбрасываемых с судовыми стоками флота рыбной промышленности (ФРП), в мористых районах Западно-Камчатского шельфа данные формулы были адаптированы к гидрометеорологическим условиям, преобладающим здесь. Так, в условиях Камчатского шельфа, с учетом месячного осреднения, скорость приливного течения и случайная составляющая средней скорости поверхностного течения приняты близкими к «0». Средняя за рассматриваемый период скорость ветра принята за суммарный (результирующий) ветер за месяц в исследуемом районе, что обусловлено месячным осреднением результирующего вектора перемещения воздушных масс в приземном слое по многолетним среднемесячным данным. Суммарный ветер за месяц в исследуемом районе ( $\vec{W}$ , м/с) рассчитывается по формуле:

$$\vec{W} = \sqrt{W_{м.ср.}^2 + W_{п.ср.}^2}, \quad (5)$$

где  $W_{м.ср.}$  – проекция суммарного вектора ветра за искомый месяц по меридиану, в условных единицах;  $W_{п.ср.}$  – проекция суммарного вектора ветра за искомый месяц по параллели, в условных единицах;

Проекция суммарного вектора ветра за искомый месяц по меридиану рассчитывается по формуле:

$$W_{м.ср.} = \sum_{i=1}^{N=8} W_{mi}, \quad (6)$$

где  $W_{mi}$  – проекция вектора ветра на меридиан по румбу, в условных единицах;  $i$  – румб;  $N$  – количество румбов. Отметим, что проекция суммарного вектора ветра за искомый месяц по параллели рассчитывается аналогично.

Проекции вектора на меридиан и параллель согласно [3] определяются по формуле:

$$a = n \cos \alpha, \quad (7)$$

где  $a$  – проекция величины  $n$  на ось координат;  $\alpha$  – угол между вектором  $n$  и осью координат, на которую проектируется величина  $n$ . Тогда проекция вектора ветра на меридиан по румбу рассчитывается по формуле:

$$W_{mi} = 100 v_{cp.}^{\rightarrow} T \cos(\alpha + 180), \quad (8)$$

где  $v_{cp.}^{\rightarrow}$  – средняя месячная скорость ветра в данном месяце, м/с;  $T$  – повторяемость направлений ветра по румбам в данном месяце (из компаса), %; 100 – условная величина для перевода размерности величин;  $\alpha$  – угол между меридианом и направлением ветра (румб), отсчитываемый от Севера по часовой стрелки, град; Отметим, что величина  $(\alpha + 180)$  указывает на направление ветра из компаса.

Повторяемость направлений ветра по румбам в данном месяце находятся по данным морских ГМС, расположенных в исследуемом районе, средняя месячная скорость ветра находятся по данным, представленным в работе [13]. Проекция вектора ветра на параллель по румбу рассчитывается по формуле:

$$W_{ni} = 100 v_{cp.}^{\rightarrow} T \sin(\alpha + 180). \quad (9)$$

Направление суммарного ветра за месяц ( $\alpha$ , град) в исследуемом районе определяется по формуле:

$$\alpha = \arg \cos W_{m.sp.} \quad (10)$$

Отметим, что угол между меридианом и направлением ветра ( $\alpha$ , град) переводится в румб по Методическим указаниям [10]. Скорость дрейфового течения находится по формуле, аналогичной формуле (5), где среднемесячная скорость постоянных течений в исследуемом районе ( $v_{cp.m.}^{\rightarrow}$ , м/с) определяется по таблице 1. Она составлена по схемам течений Охотского моря, представленным в работе [1]. Эти данные включают составляющую средней скорости поверхностного течения в исследуемом районе, в т. ч. стоковые, вдольбереговые, компенсационные и др.

Таблица 1 – Скорость (см/с) и направление поверхностных течений в исследуемом районе на траверзе береговых ГМС

Наименование ГМС	Скорость течения, см/с	Направление (румбы)	Направление (градусы)
зима			
Октябрьская	6 до 10	ЮЗ	225
Озерная	6 до 10	ЮЗ	225
весна			
Октябрьская	0 до 5	ЮЮВ	157
Озерная	0 до 5	ЮЗ	223
лето			
Теви	0 до 5	ССВ	20
Усть-Воямполка	0 до 5	ССВ	20
Усть-Хайрюзово	0 до 5	ЮЮВ	157
Ича	0 до 5	ВЮВ	122
Октябрьская	0 до 5	В	80
Озерная	0 до 5	ВЮВ	122
осень			
Усть-Хайрюзово	6 до 10	Ю	183
Ича	0 до 5	Ю	191
Октябрьская	6 до 10	ЮВ	140
Озерная	0 до 5	ЮВ	127

\* принято в расчеты 5,0 см/с и 10,0 см/с

Таким образом, результирующий вектор переноса полей судовых стоков ( $\sum_n \vec{v}_n$ , м/с) определяется по формуле:

$$\sum_n \vec{v}_n = \sqrt{v_{др.м.}^2 + v_{др.п.}^2}, \quad (11)$$

где  $v_{др.м.}$  – составляющая вектора скорости дрейфа по меридиану, в условных единицах;  $v_{др.п.}$  – составляющая вектора скорости дрейфа по параллели, в условных единицах. Результирующее направление переноса полей судовых стоков рассчитывается по формуле, аналогичной формуле (10).

### ***Исходные данные для проведения расчета результирующего переноса полей судовых стоков по морской акватории***

Для расчета скорости и направления перемещения полей загрязненных вод, сброшенных с судовыми стоками в мористых районах на расстоянии 50 км от западного побережья Камчатки на траверзе береговых ГМС, расположенных на п-ове Камчатка определим условия. Географическое местоположение сброса судовых стоков – Западно-Камчатская и Камчатско-Куриль-

ская промысловые подзоны Охотского моря, далее исследуемый район. Сброс происходит с судов ФРП в исключительную экономическую зону РФ и на протяжении календарного года. Распространение загрязняющих веществ, происходит в поверхностном слое моря на горизонте 0–5 м, что связано с расположением выпусков стоков не выше ватерлинии.

Перемещение полей судовых стоков под действием ветра и течений происходит в безледовый период (с апреля по ноябрь включительно) и во льдах (декабрь – март). Расчет проводится по имеющимся гидрологическим данным. Для наиболее точной оценки переноса загрязнений используются данные регулярных, методически однородных рядов наблюдений за метеорологическими элементами всех имеющихся в исследуемом районе ГМС. Ветер, измеряемый на береговых ГМС, распространяется в море на расстояние 50 км от побережья. Скорость поверхностных морских течений на траверзе выбранных ГМС определяется по таблице 1.

Скорость Камчатского течения, протекающего в море, составляет 10–15 см/с, а Западно-Камчатского компенсационного течения, протекающего в прибрежье Камчатки – 10–20 см/с [1]. Исходя, из перечисленных условий, выделяем исследуемый подрайон – часть акватории Охотского моря расположенная в исследуемом районе, ограниченная с внешней и внутренней стороны линиями. Внутренняя граница исследуемого подрайона совпадает с береговой линией западного берега п-ова Камчатка, а внешняя граница подрайона лежит на расстоянии 50 км от него.

#### *Результаты расчета суммарного вектора ветра в исследуемом подрайоне*

В таблице 2 представлены сведения о ГМС, расположенных на западном побережье п-ова Камчатка. Она составлена по Списку организаций [19] и дополнена материалами Госфонда ГУ «Камчатское УГМС». Были выполнены расчеты суммарного ветра за месяц в исследуемом подрайоне по данным всех (табл. 2) имеющихся в исследуемом подрайоне ГМС.

Таблица 2 – Сведения о ГМС, расположенных на западном побережье п-ова Камчатка

ГМС	Широта (северная)	Долгота (восточная)	Высота над уровнем моря, м	Период наблюдений, годы
Теви	59°36'	160°45'	31	1980 – 2008
Усть-Воямполка	58°30'	159°10'	4	1936 – 1944; 1947 – 2008
Усть-Хайрюзово	57°05'	156°42'	5	1936 – 2008
Ича	55°35'	155°35'	8	1936 – 2008
Октябрьская	52°40'	156°14'	6	1936 – 1989
Озерная	51°29'	156°29'	36	1936 – 2008

На рисунке выборочно показаны примеры расчета по формуле (5) суммарного вектора ветра по его проекции на меридиан и параллель на ГМС Озерная (за апрель месяц) и на ГМС Ича (за сентябрь месяц).

Выполненные расчеты показали, что скорость и направление суммарного ветра не постоянны во времени. В апреле в исследуемом подрайоне наблюдается вдольбереговое перемещение ветра, направленного с С на Ю, со скоростью 0,1–0,6 м/с. В мае наблюдается относительно стойкий ветер, направленный к берегу за исключением

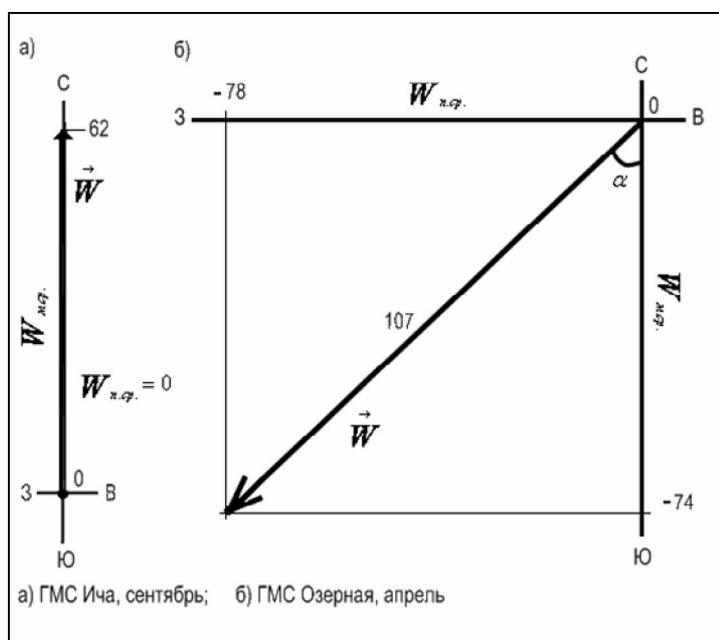


Рисунок. Пример вычисления суммарного вектора ветра в заданный период времени

района, расположенного на траверзе ГМС Усть-Хайрюзово. В июне на всем протяжении исследуемого подрайона отмечен устойчивый ветер, направленный к берегу. В этом месяце возможно возникновение эффекта «прилипания» загрязненных полей судовых стоков к берегу западной Камчатки, что следует из результатов экспериментов Г. А. Гольдберга с соавторами [12], проведенных в 1970 г. в районах Ялты и Сочи. В таблице 3 представлены (выборочно) сводные данные, проведенных по формулам (5) и (10) расчетов по направлению (румб и градус) и средней месячной скорости суммарного

вектора ветра на расстоянии 50 км на траверзе береговых ГМС (Усть-Хайрюзово, Ича, Октябрьская) западного побережья Камчатки.

Таблица 3 – Направление (из компаса) и средняя месячная скорость ветра на береговых ГМС Западного побережья Камчатки

Месяц	Усть-Хайрюзово			Ича			Октябрьская		
	W, м/с	Направление		W, м/с	Направление		W, м/с	Направление	
январь	2,0	З	275	1,9	З	259	2,8	ЮЗ	219
февраль	1,6	З	249	2,1	ЗЮЗ	245	2,8	ЮЗ	215
март	1,5	ЗЮЗ	242	1,6	ЗЮЗ	245	2,3	ЮЮЗ	212
апрель	0,8	ЮЗ	227	0,7	ЮЗ	222	0,6	Ю	187
май	0,5	ЮЮВ	165	0,5	В	87	0,8	В	80
июнь	0,8	ВЮВ	107	1,0	В	90	1,5	В	81
июль	0,7	ВСВ	78	1,2	ВСВ	66	1,3	ВСВ	70
август	0,3	ВСВ	73	0,7	ВСВ	58	1,2	В	88
сентябрь	0,5	ССЗ	327	0,6	С	0	0,8	ВСВ	65
октябрь	1,1	СЗ	322	0,9	ССЗ	336	0,9	ВЮВ	109
ноябрь	1,8	СЗ	320	1,1	СЗ	324	0,9	Ю	190
декабрь	2,1	ЗСЗ	288	2,0	З	270	2,3	ЮЗ	227

В июле в исследуемом подрайоне тенденция направленности ветра, описанная по предыдущим месяцам сохраняется в сторону берега, но с северной составляющей. Средняя скорость ветра, на траверзе ГМС меняется не существенно. В августе наблюдается устойчивое направление ветра в сторону берега. В сентябре происходит перестройка направления ветра вдоль берега, но с Ю на С. Средняя скорость ветра с северной составляющей и в целом уменьшается. В октябре нарушается устойчивая тенденция, ветер отклоняется к З против часовой стрелки, но его направление существенно не меняется по отношению к сентябрю. В ноябре синхронное направление ветра в исследуемом подрайоне нарушается и распределяется следующим образом: в Камчатско-Курильской промысловой подзоне перемещение ветра происходит в южном направлении, а в Западно-Камчатской промысловой подзоне к СЗ. Средняя скорость ветра увеличилась в 1,5–2 раза по отношению к предшествующим месяцам.

В декабре, согласно [1], в Западно-Камчатской рыбопромысловой подзоне наблюдается устойчивый сплошной лед на всем протяжении исследуемого района, а в Камчатско-Курильской, в период декабрь – март, ветер с южной составляющей, преимущественно ЮЗ. В декабре он направлен в сто-

рону Курильских островов (скорость 2,3 м/с), и постепенно к апрелю месяца он разворачивается против часовой стрелки со скоростью 2,8 м/с к Ю.

### *Выводы*

Проведенные расчеты суммарного вектора ветра показывают, что в исследуемом районе существует вероятность достижения полями судовых стоков западного берега Камчатки и его загрязнение, что подтверждает актуальность дальнейших исследований по расчету результирующего переноса полей загрязненных вод судов ФРП по акватории моря. Результаты работы показали, что предложенная Методика расчета переноса загрязнений, сбрасываемых с судовыми стоками ФРП, разработанная на основе Методики [2] применима для получения перемещения полей загрязненных судовых вод под действием ветра и течений в мористых районах западной Камчатки.

### **Литература**

1. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей [Электронный ресурс] / И. Д. Ростов и др. Владивосток, 2007. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
2. Временные рекомендации по прогнозированию распространения нефти в море. М.: ГК СССР по ГКПС, 1984. 21 с.
3. Зубов Н.Н. Океанологические таблицы / под ред. Б.И. Леонова. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 406 с.
4. Исаков А.Я., Касперович Е.В. О загрязнении нефтепродуктами Охотского моря // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. 2007. №02(26). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/02/pdf/13.pdf>
5. Исаков А.Я., Касперович Е.В. Физико-химические характеристики нефтесодержащих вод на судах рыбопромыслового флота // Экономические, социальные, правовые и экологические проблемы Охотского моря и пути их решения: Материалы региональной научно-практической конференции 23–25 ноября 2004 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. С. 135–140
6. Касперович Е.В. О загрязнении морей нефтепродуктами при эксплуатации судов (на примере Западно-Камчатской и Североохотоморской рыбопромысловых подзон Охотского моря и внутренних морских вод Авачинской губы Камчатского края). // Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений: Сборник статей РЭА №1. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 105–109
7. Касперович Е.В. О загрязнении стоками морских транспортных средств Охотского моря // Экономические, социальные, правовые и экологические проблемы Охотского моря и пути их решения: Материалы региональной научно-практической конференции 17-19 мая 2006 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006. С. 251–253

8. Касперович Е.В. Оценка массы сброса загрязняющих веществ со стоками судов в промысловые подзоны Охотского моря // Безопасность жизнедеятельности. 2010. №10. С. 15–19
9. Касперович Е.В. Судовые нефтесодержащие (ляльные) воды, их физико-химические параметры и очистка / Вестник Камчатского государственного технического университета. 2005. Вып. 4. С. 63–66
10. Методические указания по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации / под. ред. Б.В. Апарина, В.В. Пуговкина и др. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2000. 68 с.
11. 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: Исследования морских экосистем и биоресурсов. М.: Наука, 2007. 699 с.
12. Моделирование процессов самоочищения вод шельфовой зоны моря. / Гольдберг Г.А., Зац В.И., Ациховская Ж.М. и др. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 216 с.
13. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. – Ч. 1–6. – Вып. 27 – Камчатская обл. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 398 с.
14. О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Постановление Правительства РФ от 21.08. 2000 г. (в ред. от 15.04.02 г.) № 613.
15. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
16. Построение гидрометеорологических сценариев для задач оценки воздействия на окружающую среду / И.Е. Кочергин, А.А. Богдановский, В.Д. Будаева и др. // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 223–240
17. Результаты моделирования потенциальных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза / А.А. Богдановский, И.Е. Кочергин, И.А. Аршинов и др. // Гидрометеорология и экология Дальнего Востока: труды ДВНИГМИ, тематич. вып. №4. Владивосток, 2003. С. 118–125
18. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и устьев рек, ч. 3. М.: Гидрометеиздат, 1972. 535 с.
19. Список гидрометеорологических организаций наблюдательной сети Росгидромета (по состоянию на 1 января 2003 года). М.: Гидрометеиздат; Спб., Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2004. 248 с.