

А.С.Кукушкин, Ю.А.Прохоренко, А.В.Шугаев

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**ЭЛЕКТРОННЫЙ АТЛАС
«ПОКАЗАТЕЛЬ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА
В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ»**

Описана структура электронного атласа, созданного на основе данных многолетних (1978 – 1995 гг.) наблюдений показателя ослабления направленного света в глубоководной части Черного моря с использованием набора из семи его характерных значений, учитывающих основные особенности вертикальной оптической структуры вод Черного моря. Атлас содержит карты пространственного распределения характерных значений показателя ослабления света, построенные по данным наблюдений в отдельных съемках и по осредненным данным в весенний, летний и осенний сезоны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: атлас, карты, показатель ослабления направленного света, пространственное распределение, Черное море.

Первичная гидрооптическая характеристика – показатель ослабления направленного света в воде (ПОС, ϵ) является одной из наиболее информативных океанологических характеристик. Известно, что прозрачность воды (ПОС) в верхнем слое (0 – 200 м) в глубоководных районах моря в основном определяется содержанием в ней взвешенного и растворенного веществ, распределение которых, в свою очередь, зависит от различных гидрофизических, химических и биологических процессов. Поэтому изучение прозрачности вод Черного моря в условиях их прогрессирующего загрязнения и эвтрофикации представляет несомненный интерес для контроля экологического состояния этих вод.

На формирование оптической структуры вод в глубоководной части Черного моря оказывает влияние слабый водообмен между глубинными и поверхностными слоями, наличие холодного промежуточного слоя, сероводородной зоны и устойчивой циклонической системы течений. Анализ результатов многолетних натурных наблюдений показал, что вертикальная структура прозрачности черноморской воды существенно отличается от структуры прозрачности вод в других морях [1]. На основе этого анализа Неуйминым Г.Г. были выделены четыре достаточно стабильных оптических слоя с определенными гидрологическими, химическими и биологическими характеристиками, для описания оптических свойств которых в [2, 3] предложены значения показателя ослабления направленного света (ПОС), отражающие специфику каждого слоя. Так, для поверхностного слоя (0 – 60 м), расположенного в эвфотической зоне, выбран ПОС на глубине 0 м и его среднее значение в слое 0 – 25 м. Для характеристики промежуточного слоя наиболее прозрачных вод (60 – 130 м) выбран ПОС на глубине 100 м. Для описания глубинного слоя мутности использована амплитуда ПОС в этом слое и глубина его залегания. Значения ПОС на глубинах 200 и 400 м харак-

теризовали оптические свойства сероводородной зоны моря. Выбор значения ПОС на глубине 100 м для характеристики слоя прозрачных вод, на наш взгляд, не совсем точен. Это связано, прежде всего, с тем, что по натурным данным глубина залегания этого слоя зависит от района измерений. Так, в районе циклонических круговоротов (области подъема вод) глубина залегания прозрачных вод равна 80 ± 22 м, а в антициклонических круговоротах (области опускания вод) 142 ± 28 м. К тому же в районах подъема вод на глубине 100 м достаточно часто наблюдаются повышенные значения ПОС, характеризующие глубинный слой мутности [4]. По результатам наблюдений в 1977 – 1985 гг. в летний и осенний сезоны были построены и проанализированы климатические карты этих значений ПОС [3].

Целью работы является описание структуры электронной версии атласа «Показатель ослабления направленного света в глубоководной части Черного моря», созданного на основе первичных многолетних (1978 – 1995 гг.) материалов наблюдений ПОС.

Электронный атлас состоит из четырех разделов, в которых проиллюстрирована пространственно-временная изменчивость ПОС в глубоководной части Черного моря, характеризующего его прозрачность.

В **разделе 1** описан набор минимального числа характерных значений ПОС, более точно, по нашему мнению, учитывающий основные особенности вертикальной структуры поля прозрачности в Черном море [5]: 1) ϵ_{10} – отсчет на глубине 10 м. На этой глубине в отличие от глубины 0 м значительно снижено влияние судна, разрушающего стратификацию ПОС, и влияние неизбежных загрязнений, попадающих в море с судна на станции; 2) $\epsilon_{\min}$ – отсчет минимального значения ПОС на его вертикальном профиле в слое повышенной прозрачности; 3) $\epsilon_{\max}$ – отсчет максимального значения ПОС в глубинном слое мутности; 4) $Z_{\epsilon_{\min}}$ и $Z_{\epsilon_{\max}}$ – глубины залегания $\epsilon_{\min}$ и $\epsilon_{\max}$; 5) $\epsilon_{\text{ср}}$ – среднее значение ПОС в слое от поверхности моря до глубины залегания $\epsilon_{\min}$; 6) $\epsilon_{200}/\epsilon_{300}$ – отношение значений ПОС на горизонтах 200 и 300 м.

Для построения карт распределений характерных значений ПОС и определения статистических оценок его временной изменчивости (сезонной, внутригодовой и межгодовой) использованы данные многолетних (1978 – 1995 гг.) наблюдений ПОС, полученные в Морском гидрофизическом институте НАН Украины в глубоководной части Черного моря. Всего было выполнено 1600 станций (весной – 414; летом – 365; осенью – 821) в 24 экспедиционных рейсах. Измерения ПОС (при десятичном основании логарифма и длине волны 420 – 430 нм) проводились до горизонта 300 м с помощью однотипных зондирующих прозрачномеров [6, 7]. Сведения о проведенных наблюдениях приведены в таблице.

По материалам наблюдений, полученным в 10 экспедиционных рейсах (около 500 станций) в 1978 – 1986 гг., был подготовлен и депонирован в 2000 г. в ВИНТИ атлас ПОС [8]. Атлас содержал карты распределения характерных значений ПОС и их статистические оценки (среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации) для отдельных рейсов и сезонов.

Т а б л и ц а . Сведения о гидрооптических измерениях в глубоководной части Черного моря.

сезон	судно, № рейса		время проведения	кол-во станций
весна	«Академик Вернадский»,	27	25.05 – 06.06.1983	35
	«Академик Вернадский»,	37	05.04 – 25.04.1988	49
	«Профессор Колесников»,	21	01.04 – 09.05.1989	156
	«Профессор Колесников»,	30	02.04 – 30.04.1993	116
	«Профессор Колесников»,	33	16.03 – 06.04.1995	58
лето	«Михаил Ломоносов»,	35	25.07 – 21.08.1978	56
	«Академик Вернадский»,	29	15.06 – 15.07.1984	76
	«Михаил Ломоносов»,	44	09.06 – 09.07.1985	74
	«Академик Вернадский»,	34	16.06 – 10.07.1986	40
	«Профессор Колесников»,	23	08.08 – 11.08.1989	15
	«Профессор Колесников»,	29	04.07 – 03.08.1992	104
осень	«Академик Вернадский»,	23	05.11 – 04.12.1980	40
	«Академик Вернадский»,	28	29.11 – 14.12.1983	42
	«Михаил Ломоносов»,	43	26.10 – 17.11.1984	41
	«Профессор Колесников»,	12	03.09 – 20.09.1985	42
	«Михаил Ломоносов»,	44	11.10 – 30.10.1985	34
	«Профессор Колесников»,	14	22.11 – 12.12.1986	36
	«Профессор Колесников»,	17	12.11 – 20.12.1987	71
	«Профессор Колесников»,	23	03.09 – 25.09.1989	48
	«Михаил Ломоносов»,	51	20.11 – 09.12.1989	61
	«Михаил Ломоносов»,	53	25.09 – 02.11.1990	163
	«Профессор Колесников»,	28	08.09 – 14.10.1991	133
	«Михаил Ломоносов»,	54	20.11 – 09.12.1991	78
	«Профессор Колесников»,	32	02.12 – 12.12.1994	32

В разделе 2 описаны результаты анализа внутригодовой изменчивости статических оценок характерных значений ПОС как по всему морю, так и в районах расположения стационарных циклонических (западного и восточного) и квазистационарных антициклонических («севастопольского» и в юго-восточной части моря) круговоротов в период относительно стабильного оптического состояния вод Черного моря (1978 – 1989 гг.) и в период (1990 – 1993 гг.) резкого снижения их прозрачности. Показано, что характер сезонных изменений ПОС в циклонических и антициклонических круговоротах примерно одинаков, абсолютная величина ПОС выше в антициклонических.

Рассмотрена связь изменений глубины залегания прозрачного слоя и положения нижней границы холодного промежуточного слоя в различных динамических образованиях, свидетельствующая о влиянии гидрологических параметров на оптическую структуру вод. Показана необходимость учета суровости зим, предшествующих данному периоду наблюдений, для

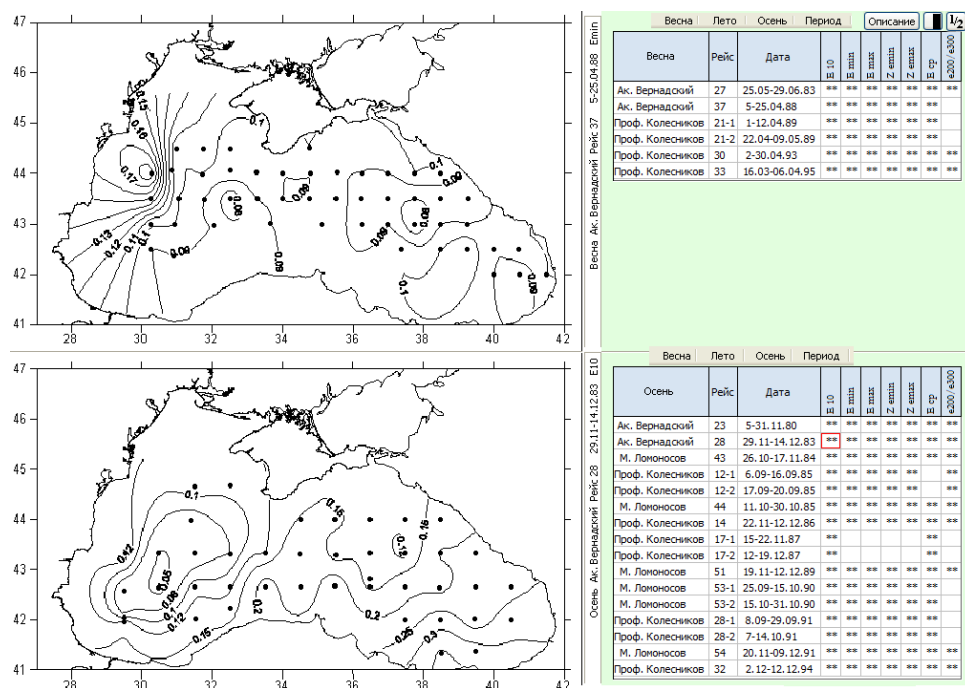
объяснения сезонных межгодовых изменений глубины залегания прозрачного слоя. Так, после суровой зимы холодный промежуточный и прозрачный слои находились ближе к поверхности в циклонических и были более заглублены в антициклонических круговоротах по сравнению с их положением в годы с нормальными и теплыми зимами.

В разделе 3 приведены карты распределений характерных значений ПОС, построенные по полученным в отдельных экспедиционных рейсах оптическим данным. Карты сгруппированы по сезонам. В разделе представлено 175 карт, в том числе в весенний период 40, в летний 39, в осенний 96 карт.

В разделе 4 приведены карты сезонных распределений характерных значений ПОС. Для построения карт акватория глубоководной части моря была разбита на прямоугольники со сторонами, равными 40' по широте и 1° по долготе. Практически их форма приближалась к квадратам со стороной 40 миль. По данным измерений, выполненных в этих квадратах в каждом сезоне, вычислялись средние величины характерных значений ПОС, которые относились к центру квадрата, в котором они вычислялись. Эти центры, обозначенные на картах кружками, дают представление о пространственном расположении станций с данными, использованными для построения этих карт. В разделе представлено 49 сезонных карт, построенных по осредненным данным, полученным в период 1 (1978 – 1989 гг.) и в период 2 (1990 – 1995 гг.), а также по осредненным данным за весь период наблюдений (1978 – 1995 гг.).

Программа, реализующая электронную версию атласа, позволяет осуществить быстрый просмотр, фиксацию и сравнение карт, а также их перенос на другие носители (бумажные и электронные). Атлас представляет собой справочник, в основу просмотра материалов которого положен сезонно-временной принцип. В каждом сезоне материалы расположены в хронологическом порядке.

Интерфейс программы состоит из двух идентичных частей, в окнах которых отображаются сезонные таблицы со сведениями об оптических съемках (названия научно-исследовательских судов, номера и даты проведения рейсов) и о наличии в атласе карт распределений характерных значений ПОС (рис.1). Выбранные карты также отображаются в этих окнах. Переключение таблиц осуществляется кнопками управления, расположенными над окном отображения таблиц. Названия кнопок соответствуют сезонам и периодам наблюдений. Навигация по таблице осуществляется при помощи левой кнопки мышки или кнопок клавиатуры. При этом соответствующие поля таблицы обводятся красной рамкой. При движении по столбцу дат рейсов появляется плавающее окно с изображением расположения станций рейса. При движении по разделу таблицы о наличии в атласе карт распределений характерных значений ПОС в фиксированном окне появляются соответствующие карты распределений ПОС. В правой части окна по вертикали отображается строка таблицы с названием характерного значения ПОС. При двойном нажатии левой кнопки мышки возникает плавающее окно с изображением карты распределений ПОС, а соответствующее поле обводится синей рамкой. Изображение плавающего окна можно при помощи контекстного меню передать в буфер обмена. Такая организация интерфейса позволяет одновременно просматривать и сравнивать на мониторе с размерами



Р и с . 1 . Окно просмотра материалов атласа.

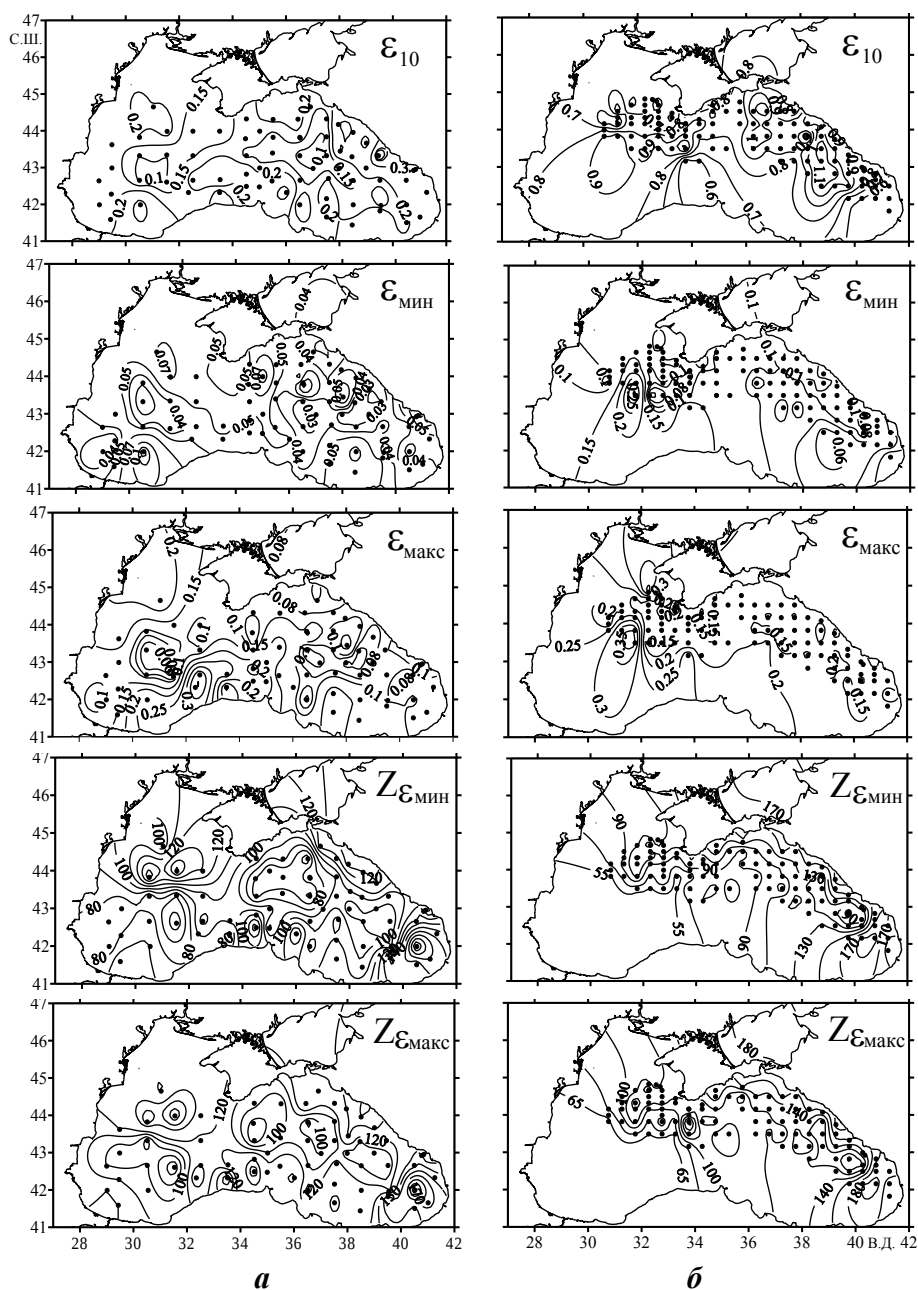
1024 на 768 пикселей необходимое число карт распределений характерных значений ПОС одновременно. Во время работы можно вызвать для просмотра любой раздел описания атласа.

На рис.2 представлены карты распределений характерных значений ПОС, построенные по данным наблюдений летом 1985 г. (период относительно стабильного оптического состояния вод моря) и в июле 1992 г. (период резкого снижения прозрачности). На рис.3 показаны сезонные (весна, лето) карты распределений ПОС в период 1980 – 1988 гг.

Статистические оценки и карты распределений характерных значений ПОС, полученные в период 1978 – 1989 гг., могут быть использованы в качестве опорных, поскольку этот массив оптических данных формировался в период стабильного состояния гидрооптической ситуации в Черном море.

Материалы созданного атласа также могут быть использованы при моделировании процессов изменчивости экосистемы Черного моря и планировании гидрофизических и гидробиологических исследований.

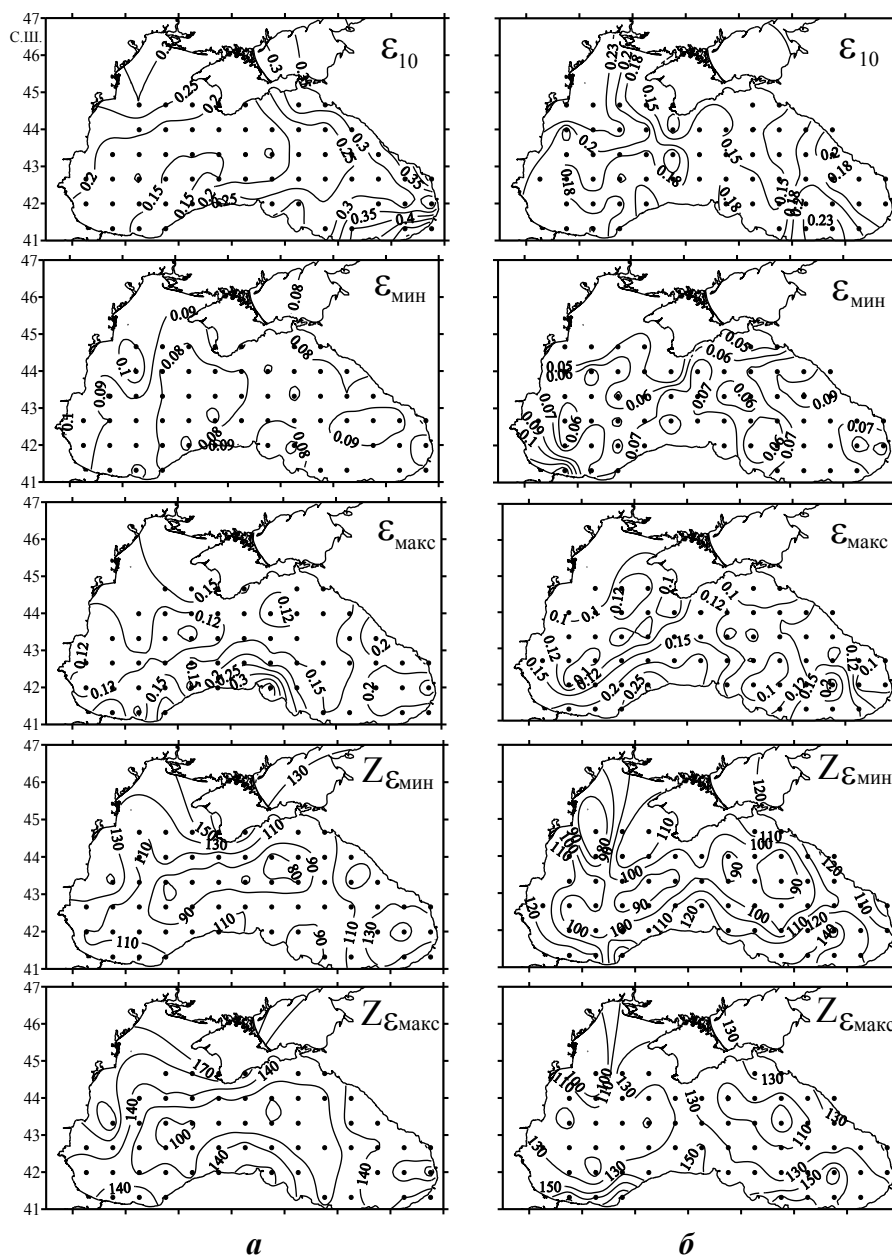
К авторам Атласа следует отнести Евгения Алексеевича Агафонова (1934 – 2009) – замечательного организатора регулярных гидрооптических исследований в Чёрном море на судах МГИ и других ведомств. Благодаря его постоянному стремлению к исследованию Чёрного моря и умению заинтересовать этой работой коллег, удалось собрать многолетний и обширный массив данных оптических наблюдений. Под руководством и при непосредственном участии Евгения Алексеевича был подготовлен «Атлас показателя ослабления света глубоководной части Черного моря», депонированный в ВИНТИ в 2000 г. и обобщивший результаты проведенных в 1978 – 1986 гг. оптических исследований [8].



Р и с . 2 . Распределение характерных значений ПОС летом 1985 г. (а) и 1992 г. (б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексные океанографические исследования Черного моря / Под ред. Б.А. Нелепо. – Киев: Наукова думка, 1980. – 240 с.
2. Маньковский В.И. Оптическая структура вод Черного моря и закономерности ее формирования // Гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ АН Украины, 1992. – С.7-27.
3. Маньковский В.И., Соловьев М.В. Гидрооптические характеристики вод Черного моря в период 1922-1985 гг. (климатические карты) // Экологическая безопас-



Р и с. 3. Распределение характерных значений ПОС в весенний (а) и осенний (б) сезоны в период 1 (1980 – 1989 гг.).

ность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – вып.8. – С.23-47.

4. Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Изменчивость распределения прозрачности в верхнем слое пелагиали Черного моря // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – 21. – № 4. – С.339-344.
5. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Характерные значения вертикального распределения показателя ослабления света в верхнем слое глубоководной части Черного моря // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – 15, № 4. – С.306-

309.

6. *Ли М.Е.* Логарифмический фотометр – прозрачномер для видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра // Методика и аппаратура для гидрофизических исследований.– Киев: Наукова думка, 1969.– 41.– С.180-188.
7. *Крашенинников Б.Н., Ли М.Е.* Автоколлимационный спектральный прозрачномер // Тезисы докладов конференции «Проблемы Черного моря».– Севастополь: МГИ НАН УССР, 1992.– С.38-39.
8. *Агафонов Е.А., Прохоренко Ю.А., Богуславский С.Г., Кукушкин А.С.* Атлас показателя ослабления света глубоководной части Черного моря // Депон. рукопись №235-В00.– М.: ВИНТИ, 2000.– 101 с.

Материал поступил в редакцию 15.11.2010 г.