

УДК 004.94+556.56

*Ан.А. Лыгин, К.В. Марусин, А.Ш. Хабидов, А.А. Лыгин,
Е.А. Федорова, А.Л. Хомчановский*

Расчетные программные компоненты прототипа информационной системы мониторинга и прогнозирования динамики берегов*

*An.A. Lygin, K.V. Marusin, A.Sh. Khabidov, A.A. Lygin,
E.A. Fedorova, A.L. Khomchanovsky*

Software Components of the Information System Prototype for Coastal Zone Monitoring

Экспериментальный образец информационной системы мониторинга и прогнозирования динамики берегов содержит семь расчетных программных компонентов для решения прогностических задач на основе полученных данных: «Программа расчета параметров ветровых волн вне береговой зоны», «Программа расчета параметров ветровых волн в береговой зоне», «Программа расчета профиля динамического равновесия берегового склона», «Программа расчета вдольберегового потока наносов», «Динамика профиля», «Абразия», «Программа расчета изменения положения береговой линии». В статье представлены первые четыре программных компонента.

Ключевые слова: информационная система, прогностическое программное обеспечение, мониторинг береговой зоны, морфология берегов и дна искусственных водоемов, Новосибирское водохранилище.

Введение. Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. №219 [1] одной из основных целей государственного мониторинга водных объектов, их побережий и береговых зон является информационное обеспечение управления в области использования и охраны морей, озер и водохранилищ. Инструментарием информационного обеспечения должна стать разрабатываемая в рамках Федерального целевого проекта № 16.515.11.5075 информационная система мониторинга состояния берегов естественных и искусственных водоемов.

При выполнении Государственного контракта были изучены и обобщены результаты современных исследований по математическому моделированию и прогнозированию природных процессов, протекающих в береговой зоне водоемов. Реализованные математические модели базируются на эмпирических уравнениях, положенных в основу нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации.

Prototype of the Information System for Coastal Zone Monitoring includes seven software components for solving predicted problems based on the obtained data: program for calculating wind wave parameters outside the coastal zone, program for calculating wave shoaling and refraction, program for calculating equilibrium beach profile and nourishment volume, program for calculating the net annual alongshore transport, program for modeling storm-induced sand beach profile changes, program for modeling erosion of the clay coastal profile, program for modeling shoreline changes. The paper presents the first four software components.

Key words: information system, predictive software, coastal zone monitoring, man-made lake shores and bottom morphology, Novosibirsk Reservoir.

Организация сбора, хранения и предоставления информации, получаемой от пространственно-распределенной сети станций Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России и из наблюдений, ведущихся с использованием разработанного в рамках обозначенного выше проекта мобильного аппаратного комплекса мониторинга береговой зоны, является отдельной большой темой и в данной статье не рассматривается.

Общие положения реализации расчетных программных компонентов. Графический пользовательский интерфейс приложения, оформленный в виде исполняемого файла, реализован отдельно от динамической библиотеки расчета и организации доступа к данным.

Входные и выходные данные каждого программно-продукта объединены в наборы-проекты. Для хранения проектов и данных используются бинарные файлы, полученные средствами сериализации.NET. Разновидности всех наборов сохраняемых данных

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 11-05-00615-а и 11-05-10046-к) и федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.» (проект 16.515.11.5075). Заказчик — Министерство образования и науки РФ.

оформлены в виде сущностей для удобной организации контрактов пересылки по сетевым протоколам. В качестве стандарта взаимодействия с внешними приложениями (например, Microsoft Excel) выбран XML 1.0. Для удобства пользования реализованы расшифровки обозначений и допустимых значений входных параметров в виде всплывающих подсказок.

Язык программирования: C#.

Платформа: .NET Framework вер сии 4.0.30319.

Среда разработки: SharpDevelop версии 4.2.0.8783.

СС01 — Программа расчета параметров ветровых волн вне береговой зоны/

Задача генерации волнения. Ветер, дующий над поверхностью водоема, генерирует нерегулярные волны, параметры которых в общем случае зависят от длины разгона (расстояния от подветренного берега до расчетной точки), глубины водоема, скорости ветра и времени его действия. Нами рассматривается только установившийся режим волнообразования, в котором время действия ветра не влияет на параметры волн.

Средняя высота и период волны рассчитываются по эмпирическим зависимостям, полученным Ю. М. Крыловым с соавторами [2].

В случае если глубина дна существенно изменяется, путь волны до расчетной точки разбивается на ряд участков с примерно постоянным уклоном

дна. При этом расчет ведется для конечных точек каждого участка. При уменьшении глубин на некотором участке разгон к концу этого участка корректируется с учетом так называемого условного разгона. В случае превышения отношения уменьшения глубин на концах некоторого участка к длине этого участка значения 0,002 возникают трансформации волн, вызванные в большей степени влиянием изменения глубин, а не ветра (следующая расчетная задача). Кроме того, высота волны H в каждой расчетной точке должна проверяться по критерию обрушения

$$H/h < b, \quad (1)$$

где b — коэффициент обрушения, обычно принимаемый 0,78; h — глубина.

Входными данными задачи является массив характеристик последовательных участков (участка разгона — длины и глубины в конце участка и набор желаемых скоростей ветра. Пользователь также имеет возможность изменять коэффициент обрушения.

Выходными данными программы являются значения статистических (средних, среднеквадратических и значимых) параметров волн (высоты и периода) в точке обрушения и во всех конечных точках допустимых участков разгона. Пример работы программы СС01 представлен на рисунке 1.

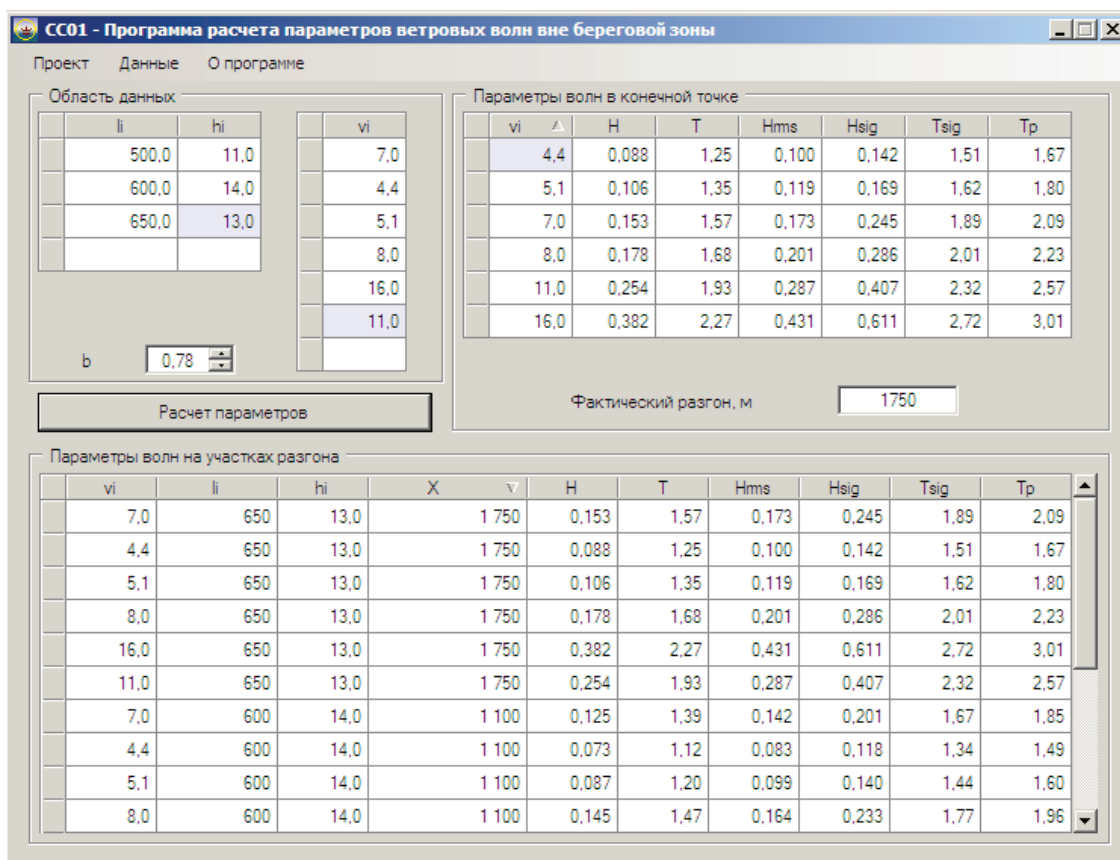


Рис. 1. Пример работы программы СС01; параметры волн в конечной точке отсортированы по возрастанию скоростей ветра, параметры волн на участках разгона отсортированы по убыванию фактического разгона волн к концу участков

В программе СС01 предусмотрена проверка введенного значения параметра по типу и значению («на лету», по событию) и полная проверка всех входных данных перед расчетом или по команде пользователя.

СС02 — Программа расчета параметров ветровых волн в береговой зоне.

Трансформация и рефракция волн. Классическая задача в рамках линейной теории волн [3]. В береговой зоне, двигаясь над уменьшающимися глубинами, волны испытывают процессы трансформации — изменения их высоты и рефракции — изменения угла подхода к берегу, т. е. угла между фронтом волны и линией берега (или между лучом волны и нормалью к берегу). При достижении критической высоты волна начинает обрушаться и далее распространяется в виде буруна или прибоя. В целом с приближением к берегу высота волн возрастает, а угол подхода уменьшается, периоды волны остаются практически постоянными.

В инженерных расчетах параметров волн в береговой зоне полагают, что изобаты на данном участке береговой зоны прямолинейны и параллельны, волнение является регулярным и описывается линейной теорией волн, донное трение весьма мало. Также пренебрегают генерирующим действием ветра ввиду относительной малости глубин и протяжения береговой зоны по сравнению с остальной долей разгона.

С учетом этих предположений и допущений справедливы следующие законы сохранения:

- закон постоянства периода волны;

- закон сохранения потока энергии между двумя волновыми лучами (линиями нормальными к фронту волны);

- закон рефракции Снелла.

В линейной теории волн высота волны H никак не связана с ее длиной L , т. е. могут существовать волны любой крутизны H/L , что, конечно, физически неверно. Поэтому начальные параметры волнения предварительно оцениваются по критерию максимальной крутизны (нелинейная теория Стокса 1-го порядка).

По известным параметрам волнения в некоторой начальной точке, используя законы сохранения и дисперсионное уравнение, решенное методом аппроксимации Ханта [4], находят следующие интересные нас параметры волн в расчетных точках:

- высота волны;
- длина волны или период волны;
- угол подхода волны;
- фазовая скорость волны.

Расчет ведется в точках (значениях глубин), заполненных автоматически с некоторым настраиваемым шагом либо, используя заданные пользователем глубины, до достижения критической высоты волны, определяемой через равенство левой и правой части соотношения (1) и в самой точке обрушения.

Предусмотрено графическое представление зависимостей обозначенных параметров от глубины при подходе к берегу. Пример работы программы СС02 представлен на рисунке 2.

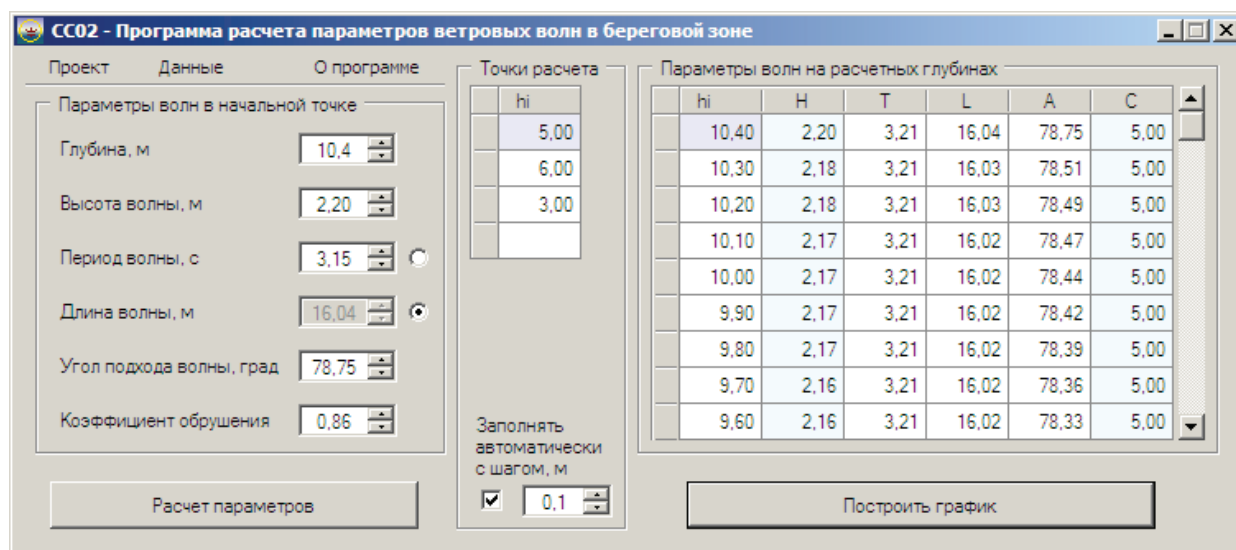


Рис. 2. Пример работы программы СС02; в области результатов выделены столбцы высот волн (H) и скоростей волн (C) для построения их зависимостей от глубины

СС03 — Программа расчета профиля динамического равновесия берегового склона

Программа предназначена для расчета профиля динамического равновесия подводного берегового склона и объемов отсыпки (питания) искусственно-

го пляжа, необходимых для компенсации дефицита наносов в целях защиты морских берегов и берегов крупных внутренних водоемов.

Энергия волн при обрушении частично рассеивается и частично расходуется на перемещение слагающе-

го дно несвязного (рыхлого) материала. При условно постоянном во временном плане внешнем воздействии (скорость диссипации энергии волн на единицу объема водной толщи постоянна) профиль подводного берегового склона стремится к состоянию *динамического равновесного* [5], по достижении которого никаких дальнейших изменений как по профилю, так и в плане, в среднем, не происходит. Динамически равновесный профиль не остается неизменным. Под действием текущих волнений материал все время перемещается по склону к берегу и от берега, но не покидает профиль. Форма склона на профиле при динамически равновесном состоянии аналитически описывается функцией Дина [5]. Параметр крутизны профиля, зависящий от медианной крупности материала, определяется по соотношениям, представленным в [6].

Для расчета параметров необходимы следующие исходные данные:

- таблица координат исходного профиля дна;

- линейные параметры бермы;
- набор значений медианной крупности материала;
- высота расчетной волны;
- набор координат расчетных точек вдоль поперечной к береговой линии оси (линии распространения волны) или шаг приращения координат;
- коэффициент обрушения;
- угол естественного откоса грунта.

Результатом работы программы является таблица координат естественного профиля, динамического равновесного состояния рельефа дна и их разности в расчетных точках. Объемы отсыпки материала на погонный метр береговой линии для каждого значения медианной крупности материала сводятся в отдельную таблицу. Пример работы программы СС03 представлен на рисунке 3. Дополнительно предусмотрена прорисовка профиля с возможностью экспорта изображения в растровом формате (рис. 4).

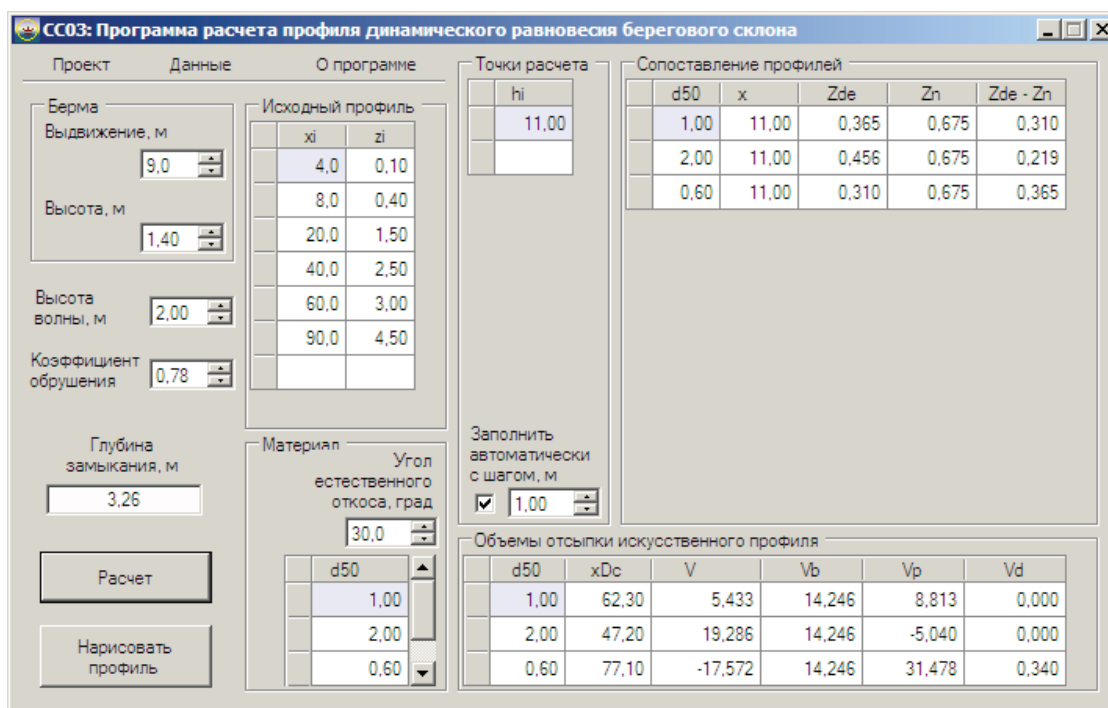


Рис. 3. Пример работы программы СС03

СС04 — Программа расчета вдольберегового потока наносов. Программа предназначена для расчета потоков наносов (по направлениям, за период и результирующего).

Подходящие под некоторым углом к берегу волны, обрушаясь, создают вдольбереговой дрейф и, следовательно, перенос материала (транспорт наносов). Полный (через весь створ береговой зоны) расход наносов зависит от высоты, периода, угла подхода волны в точке ее обрушения и крупности донного материала.

В данной расчетной задаче для песчаных материалов используется формула Леонтьева [7]. Для пес-

чаных наносов в интервале медианных крупностей от 0,01 до 1 мм дополнительно предусмотрено использование формулы CERC [8]. В случае переноса гравийных и галечных материалов применяется формула Камфиуса [9]. Для галечных наносов значение коэффициента емкости потока принимают равным 0,4 [10].

Входными данными программы являются:

- экспозиция береговой линии — угол между направлением на север и внутренней нормалью к береговой линии, отсчитываемый по часовой стрелке;
- медианная крупность наносов;
- средний уклон дна в прибрежной зоне;

- начальная расчетная глубина на входе в береговую зону;
- коэффициент обрушения;
- коэффициент пористости материала;
- плотность материала;
- плотность воды;
- таблица из строк параметров волнения в начальной точке для каждого шторма с указанием продолжительности воздействия.

Результаты расчета представлены в таблице суммарных значений расхода наносов за период, распределенных по штормам, с возможностью сортировки вывода по объему перенесенного материала. Результирующее значение потоков (влево, вправо относительно наблюдателя на берегу и итогового) отображается в отдельной области. Пример работы программы СС04 представлен на рисунке 5.

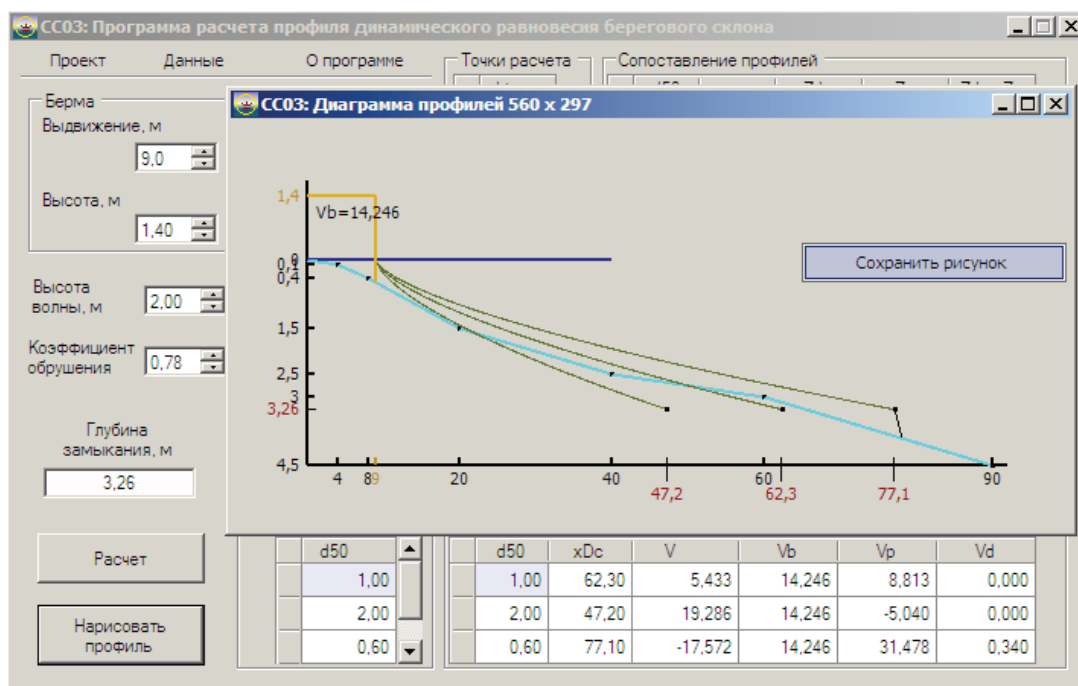


Рис. 4. Диаграмма сопоставления профилей с указанием ключевых точек

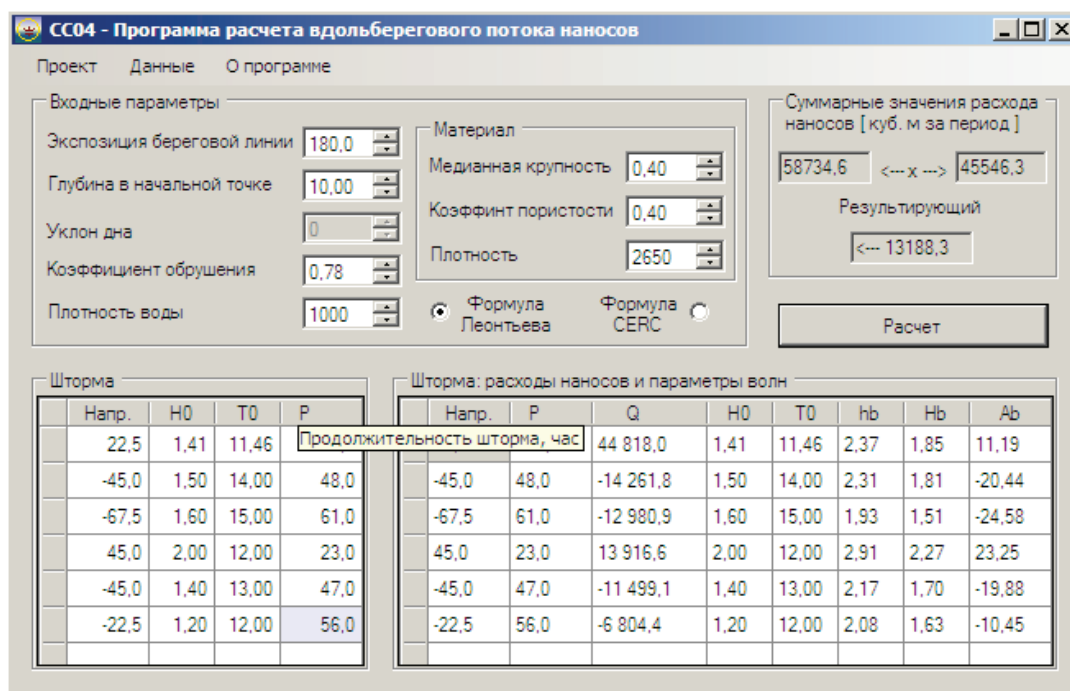


Рис. 5. Пример работы программы СС04

Заключение. Расчетные программные компоненты информационной системы мониторинга и прогнозирования динамики берегов, используемые для анализа накапливаемых данных, позволяют составлять как оперативные, так и средне- и долгосрочные прогнозы развития участков береговой зоны в целях защиты морских берегов и берегов крупных внутренних водоемов.

Система мониторинга и прогнозирования, испытанная на Новосибирском водохранилище, мо-

жет стать прототипом других аналогичных систем, намеченных к развертыванию на береговых зонах морей, озер и искусственных внутренних водоемах.

Программные компоненты СС01, СС02, СС03, СС04 прошли процедуру государственной регистрации и внесены в Реестр программ для ЭВМ под номерами 2012660411, 2012660412, 2012660413, 2012660489 соответственно.

Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. №219.
2. Крылов Ю. М., Стрекалов С. С., Цыплухин В. Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. — Л., 1976.
3. Dean R. G., Dalrymple R. A. Water wave mechanics for engineers and scientists. — World Scientific, 1992.
4. Hunt J. F. Direct solution of the wave dispersion equation // J. waterway, port, coastal and ocean eng. — 1979. — Vol. 105, №WW4.
5. Dean R. G. Beach nourishment. Theory and practice. — World Scientific, 2002.
6. Hanson H., Kraus N. C. GENESIS: Generalized model for simulating shoreline change. Tech. Report CERC-89-
7. Леонтьев И. О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. — М., 2001.
8. Coastal Engineering Manual. — US Army Corp. of Engineers, 2000.
9. Kamphuis J. W. Alongshore sediment transport rate // J. of Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng. ASCE. — 1991. — V. 117.
10. Van Wellen E., Chadwick A. J., Mason T. A review and assessment of longshore sediment transport equations for coarse-grained beaches // Coastal Eng. — 2000. — V. 40.
19. — Coastal Engineering Research Center. US Army Corps of Engineers, 1989.