ОБЪЕМНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛЯЖЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ИНСТРУМЕНТОВ

В.В. Долотов*, А.А. Шкляр**

*Морской гидрофизический институт РАН

***Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
г. Севастополь, Россия, vdolotov@mail.ru*

VOLUMETRIC METHOD FOR EVALUATION OF BEACHES VARIABILITY BASED ON GIS-TOOLS

V.V. Dolotov*, A.A. Shklyar**

*Marine Hydrophysical Institute RAS

***Moscow State University Named After M.V. Lomonosov
Sevastopol, Russia, vdolotov@mail.ru*

Abstract. In frame of cadastral beach evaluation the volumetric method of natural variability index is proposed. It base on spatial calculations with Cut-Fill method and volume accounting of both the common beach contour and specific areas for the each time.

Keywords: beaches, monitoring, GIS, spatial changes, cadastral surveys.

Введение. В рамках предложенной ранее методики кадастровой оценки пляжей [1] используется большое количество измеряемых и расчетных параметров их текущего состояния. В соответствии с международными рекомендациями по оценке природных ресурсов [3] на их основе рассчитывается ограниченное количество интегральных показателей, подразделенных на природную, экономическую и социологическую группы. В настоящей работе предлагается новый метод оценки изменений количества пляжевого материала, который может конкурировать с используемым в настоящее время методом сравнения площадей пляжей или оценкой смещения их береговой линии.

Постановка проблемы. При анализе периодических изменений пляжевых образований, необходимо учитывать множество факторов. В первую очередь это, несомненно, положение береговой линии, пространственное смещение которой свидетельствует либо о размывании, либо об аккумуляции пляжевого материала. Не менее важным фактором динамики пляжей может служить разрушение клифа для пляжа неполного профиля с соответствующим смещением его положения в сторону берега. Помимо этого, установившуюся динамику пляжа могут нарушать вновь строящиеся береговые сооружения, искажающие естественный поток наносов и, возможно, некоторые другие факторы. Все они приводят к двумерному пространственному смещению отдельных участков границ пляжа, т.е. к смещению его границ в плане. Именно эти факторы учитываются в настоящее время в системе кадастровой оценки пляжей в виде коэффициента приростной динамики (КПД).

Однако, поскольку естественные пляжи являются следствием отложения потоков наносов, наиболее объективным фактором оценки их состояния должен являться объем пляжевого материала. Так, в процессе штормового воздействия на берег часть пляжевого материала обычно либо уносится в море либо выносится на берег, увеличивая толщину соответствующего слоя в отдельных точках. За счет этого на пляже образуются разнообразные бары, которые, в свою очередь, могут размываться последующими волновыми воздействиями на берег и в последствии этот процесс повторяется. Из этого понятно, что процесс массопереноса на пляже не в полной мере связан с изменением его границ.

Природный слой пляжевого материала представляет собой рыхлую структуру, покоящуюся на коренном массиве пляжа, уходящем в море в виде бенча [2]. Таким образом, влекомые течением наносы откладываются как на подводной части пляжа, так и в его береговой зоне. В плане кадастровой оценки изменчивости пляжей, наиболее интересными являются объемы наносов, распределенных на берегу и в настоящей работе описываемый методотрабатывался именно в границах береговой зоны, учитывая, что внешняя граница подводной части пляжа является довольно размытой и трудно определяемой.

Материалы и методы исследований. При постановке настоящей работы предполагалось, что если для оценки толщины слоя пляжевого материала в каждой конкретной точке пляжа необходимо знать вертикальное положение верхней границы коренного массива, то для оценки изменчивости ее положение не существенно, поскольку оно неизменно. Таким образом, разности в толщине слоя от поверхности пляжа до любой фиксированной плоскости в различные моменты времени будут соответствовать изменению этой толщины, т.е. величине изменчивости. В качестве опорной поверхности в настоящей работе использовалась горизонтальная плоскость, проведенная через линию уреза воды.

В процессе постановки работы учитывались также следующие факторы:

- поскольку в процессе динамики линия уреза воды в зоне пляжа меняет свое положение, то для каждого временного интервала можно выделить площадь, общую для двух временных отметок, а также участки пляжа, уникальные для каждой съемки;

- возможные смещения отдельных точек тыльной границы пляжа, вызываемые как природными, так и антропогенными процессами представляются важными лишь в случае разрушения клифа и в настоящей работе автоматически отсекаются используемым инструментом Cut-Fill по общим границам.

Примерная схема различных положений береговой линии для двух разных съемок на одном из поперечных сечений условного пляжа представлена на рисунке 1.

В процессе анализа использовались данные натурных измерений, выполненных на пляже пос. Любимовка Севастопольского региона Крыма (рис. 2) в 2007 и 2014 гг. В качестве измерительного прибора использовался GPSTrimble 4600LS.

Рис. 1. Схема расположения линий поперечного сечения пляжа для двух съемок

Рис. 2. Расположение пляжа пос. Любимовка

Все имеющиеся массивы данных загружались в ArcGIS в проекции WGS84. Впоследствии, с целью выполнения метрических расчетов данные перепроецировались в UTMWGS84, зона 6. Пространственные преобразования выполнялись в программе ArcGIS с использованием метода Cut-Fill и инструментов геопроецирования. Известно, что указанный метод с успехом используется для анализа изменений объемов между двумя пространственными прямоугольными сетками с одинаковыми характеристиками. Одним из преимуществ реализации метода в ArcGIS является автоматическая обрезка контуров пляжа по общим границам в процессе выполнения функции Cut-Fill. Таким образом процесс выделения общих границ исключается из ручных операций.

Результаты исследований и их обсуждение. Схема пространственного расположения контуров пляжа в 2007 и 2014 гг., представленная на рис. 3 показывает, что за указанный период южная граница пляжа выдвинулась в сторону моря, в то время как с северной стороны пляж отступил в сторону суши. Указанный факт объясняется геоморфологическими особенностями пляжа. Так с северной стороны он ограничен клифом, выступающим непосредственно до уреза воды, а с южной – первой из серии бун, образующих соседний пляж. Таким образом,

разрушаемый волновым воздействием клиф является источником, подпитывающим пляж с учетом направления вдольберегового течения. Дополнительные объемы взвеси в систему поставляются устьем р. Бельбек, впадающей примерно на расстоянии $\frac{1}{3}$ длины пляжа с южной стороны.

Рис. 3. Пространственное положение границ съемок пляжа 2007 и 2014 г.

На первом этапе определялись границы расчетной области с построением сеточных распределений методом Kriging-интерполяции (рис. 4). Сеточная модель использована исходя из необходимости гарантированного пространственного совпадения отдельных ячеек сеток.

Рис. 4. Результаты построения регулярных сеточных распределений методом Kriging

Далее, полученные распределения обрезались по соответствующим контурам пляжа с получением его трехмерных моделей (рис. 5). На том же рисунке представлен результат применения метода Cut-Fill к полученным моделям, свидетельствующий о пополнении отдельных зон пляжа материалом в указанный период на $15\,150\text{ м}^3$ с одновременной потерей в других зонах в количестве $9\,854\text{ м}^3$. Таким образом общий баланс пляжевого материала в рамках общего контура пляжа составляет $5\,296\text{ м}^3$ со знаком плюс, т.е. общий объем пляжевого материала за этот период увеличился.

Рис. 5. Результат обрезки сеточных распределений по контуру пляжа и расчета накопления-потерь материала по методу Cut-Fill

В соответствии с реализуемым подходом можно отметить, что результирующий контур на рис. 5 по площади меньше, чем каждый из вышележащих, хотя пространственное положение нижней на рисунке границы (тыльной границы пляжа) одинаково.

Следующим этапом анализа является выделение площадей, представляющих собой дополнительные участки пляжа по отношению к "общему" контуру 2007 и 2014 гг. (рис. 6), т.е. участки суши, отсеченные методом Cut-Fill, однако вносящими возможно даже более заметный вклад в перераспределение объемов пляжевого материала, по сравнению с уже рассмотренным. Выделенные методом пространственного анализа дополнительные площади и, соответственно, объемы для каждого из двух анализируемых годов приведены на рис. 6.

Рис. 6. Результат выделения индивидуальных участков пляжа для 2007 и 2014 гг.

Из рисунка визуально видно, что участок накопления материала в 2014 г, по сравнению с 2007 г более короткий, но, одновременно и более широкий. Напротив, участок потери материала с 2007 г по 2014 г более протяженный и узкий, при этом расчетные площади ($6\,417$ и $13\,798\text{ м}^2$, соответственно) показывают, что второй участок почти в 2 раза больше. Однако, как и при оценке расчетов по методу Cut-Fill, в данном случае основной интерес представляют объемы перемещаемого материала. Их можно получить, обрезав распределения по контурам дополнительных объемов, как это показанона рис. 7.

Рис. 7. Результат выделения трехмерных массивов отдельными контурами пляжа

В таблице 1 приведены статистические данные по указанному расчету, из которых следует, что потеря объема за период 2007–2014 гг. суммарно составила 617 901 м³, а его прирост за тот же период 258 784 м³, т.е. общий баланс за счет дополнительных объемов оценивается величиной – 359 117 м³ и свидетельствует о суммарной потере материала за счет указанных площадей.

Таблица 1
Статистика расчета дополнительных объемов пляжевого материала для 2007 и 2014 гг.

ПОКАЗАТЕЛИ	2007	2014
Количество	703904	327 389
Минимум, м	-0,93	0,04
Максимум, м	2,31	1,49
Сумма, м	617 901,4	258 784,1
Среднее значение, м	0,88	0,79
Стандартное отклонение	0,65	0,22

Общая же объемная изменчивость для пляжа в целом оценивается суммой двух составляющих: незначительного пополнения в границах общего контура (5 296 м³) и значительно больших потерь в пределах дополнительных контуров (-359 117 м³), что в сумме составляет потерю 353 821 м³ пляжевого материала в течение 7 лет.

Выводы. В качестве выводов следует отметить перспективность использованного метода для оценки динамики природной изменчивости пляжей, однако следует учесть, что в описанном варианте не были учтены следующие факторы:

- отмеченный выше массоперенос на морской границе пляжа;
- возможное смещение тыльной границы пляжа, вследствие как природных, так и антропогенных факторов;
- возможные антропогенные факторы деформации или восстановления пляжа, типа перепланировки или искусственной подпитки.

Возможности наличия указанных факторов необходимо выяснять в каждом конкретном случае.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-90400.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCES

1. Долотов В.В., Иванов В.А. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма. Севастополь: Экоси-гидрофизика, 2007, 193 с.
Dolotov V.V., Ivanov V.A. Povyshenie rekreacionnogo potenciala Ukrainy: kadastravaja ocenka pljazhej Kryma [Increase of Ukraine recreational potential: Cadastral evaluation of Crimea beaches], Sevastopol: Ekosi-gidrofizika, 2007, 193 p. (in Russian).
2. Игнатов Е.И., Орлова М.С., Санин А.Ю. Береговые морфосистемы Крыма. Севастополь, Экоси-гидрофизика, 2014, 265 с.
Ignatov E.I., Orlova M.S., Sanin A. Yu. Beregovye morfosistemy Kryma [Coastal Crimea morphosystems], Sevastopol: Ekosi-gidrofizika, 2014, 265 p. (in Russian).
3. Коптюг В.А. Наука спасет человечество // Итоги конференции ООН по окружающей среде и развитию. Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГТМ, 1997, с.191–199.
Koptug V.A. Nauka spaset chelovechestvo [Science will save the humans]. // Itogi konferencii OON po okruzhajushhej srede i razvitiyu. Novosibirsk: SO RAN NIC OIGTM, 1997, pp.191–199. (in Russian).