

В.В.Долотов, А.В.Попова

*Морской гидрофизический институт, г.Севастополь***ОЦЕНКА ДОЛГОПЕРИОДНОЙ ДИНАМИКИ ПЛЯЖА ПОС.ЛЮБИМОВКА**

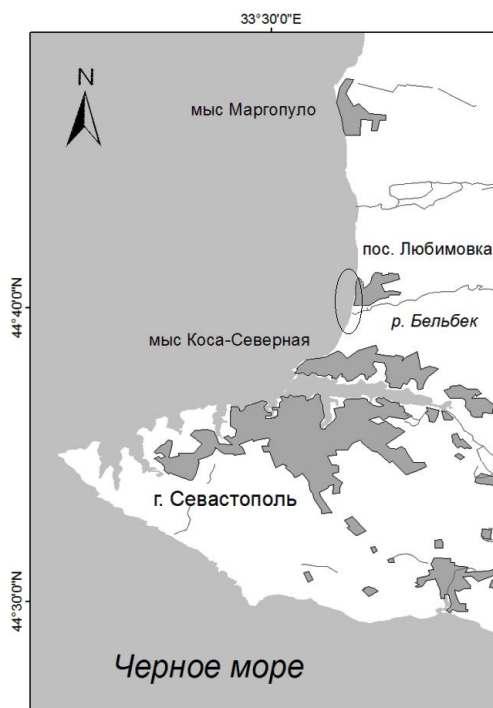
Проанализирована динамика береговой линии одного из пляжей Севастопольского района за период 1966 – 2013 гг. Для анализа использован массив космических снимков *USGS* 1966 г., а также снимки *GoogleMapsc* 2007 по 2013 гг. Проанализирована возможная погрешность геопривязки снимков по фиксированным точкам на местности. Показано, что пляж с уверенностью может рассматриваться, как три отдельные природные зоны. Основная тенденция динамики заключается в постепенном разрушении клифа в северной части пляжа и накоплении осадочного материала в южной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *береговая линия, пляж, спутниковые снимки, Севастопольский регион, Крым.*

Основным рекреационным ресурсом Крыма являются пляжи. Именно из-за них в Крым едут отдыхающие и больные, т.к. теплый климат, фрукты и другие элементы отдыха можно найти и в других регионах Украины и Зарубежья. На пляжах осуществляется аэротерапия (прием воздушных ванн), гелиотерапия (загорание), талассотерапия (морские ванны и морские купания), а также песочные ванны. К сожалению, ширина и протяженность крымских пляжей постоянно сокращаются. Главным образом это происходит за счет рефулирования песка для строительных целей и строительства водохранилищ, задерживающих влекомые наносы, идущие для пополнения пляжей.

В целях обеспечения устойчивого развития рекреационных территорий прибрежной зоны необходимо создавать и постоянно пополнять соответствующие информационные массивы данных и, в первую очередь, о пространственном положении линии берега и ширине имеющихся пляжей. Современные методы получения этих данных в сочетании с имеющимися историческими массивами смогут обеспечить понимание гидрофизических процессов, протекающих в прибрежной зоне и принять качественные решения по предотвращению деградации пляжей Крыма.

Одной из наиболее динамичных береговых зон северо-западного побережья Крыма является западное побережье Севастопольского региона [1, 2]. Интенсивные процессы трансформации берега приводят не только к заметным природным изменениям, но и начинают отвоевывать ранее освоенные участки суши. Одним из наиболее динамичных и интересных в плане изучения является пляж, примыкающий к пос.Любимовка, который расположен на западном берегу Крыма между мысами Коса Северная и Маргопуло в устье р.Бельбек (рис.1) и является первым населенным пунктом вблизи северной границы г.Севастополя. Поселок имеет естественный песчано-галечный пляж – наибольший по протяженности (2200 м) и ширине (более 60 м) в Севастопольском районе. В настоящее время пляж представляет собой два различных участка: южного, полного (без клифа) профиля и северного с наличием клифа.



Р и с . 1 . Расположение рекреационной зоны пос.Любимовка, овалом выделена зона пляжа.

Однако, учитывая поступление взвеси с водами р.Бельбек, южный участок целесообразно подразделить на два, разделенных устьем реки. Таким образом, в настоящей работе предлагается рассматривать три зоны пляжа: южную, центральную и северную (рис.2). С южной стороны пляж примыкает к соседнему, искусственному, представляющему собой разделенные железобетонными бунами секционную конструкцию насыпного галечного пляжа. На севере он ограничен обвальными породами клифа, за которыми просматривается продолжение пляжной структуры.

В настоящее время район пос.Любимовка интенсивно развивается в плане застроек прибрежной зоны объектами рекреационной инфраструктуры, в том числе жилыми корпусами повышенной комфортности и этот факт привлекает еще большее внимание к указанной территории. Последняя, наряду с природной привлекательностью непосредственно вблизи уреза воды, порождает и некоторые проблемы, связанные с заболоченностью окружающего устье реки пространства и уменьшением этой самой привлекательности по мере удаления от моря.

Методы наблюдений. В [3] выделены три основных метода получения информации об изменчивости береговой линии:

- измерениями ширины пляжей на стационарных створах в течение некоторого продолжительного времени;
- сравнением топографических съемок;
- анализом последовательных во времени аэрофотоснимков.

При этом авторы отмечают, что при измерениях на створах не учитывается изменчивость формы береговой линии и изменения уровня моря, что делает его малопригодным для использования в современных видах анализа.

Два других метода позиционируются, как довольно дорогостоящие и в глобальном масштабе не получили достаточно широкого распространения.



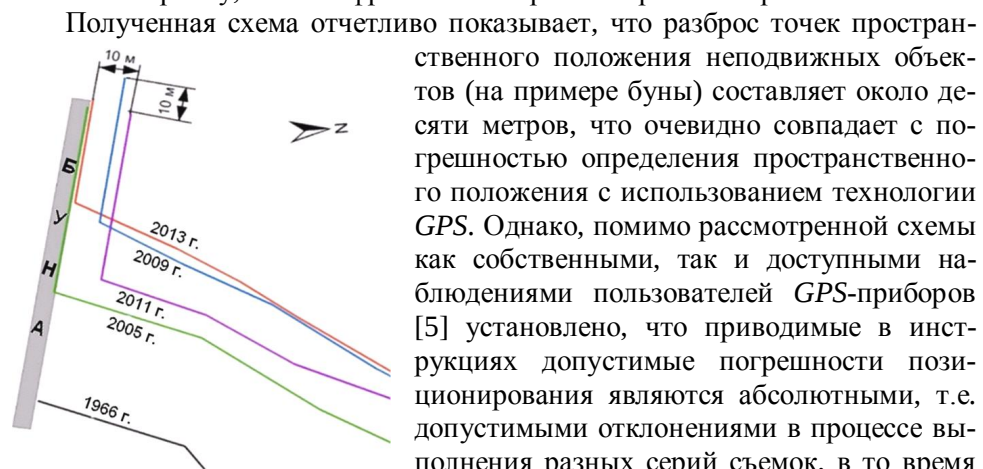
Р и с . 2 . Пространственное разделение пляжа на зоны.

Вместе с тем современное развитие космических методов дает возможность поднять решение проблемы на новый, более высокий уровень. Получение цифровых данных с искусственных спутников Земли позволяет более точно определять конфигурацию береговой линии и её изменения во времени. Разрешение снимков, получаемых с современных спутников (*QuickBird*, *Ikonos*) составляет 0,6 – 0,8 м [4] с повторяемостью съемки одной территории каждые 3 – 4 суток, что позволяет в принципе получать информацию после каждого шторма и оценивать изменения береговой линии. С февраля 2009 г. данные программы *Landsat*, начиная со спутника *Landsat 1*, запущенного в 1972 г., и заканчивая последним *Landsat 7*, стали полностью бесплатными. Использование этой информации открывает новые возможности использования спутниковой информации. Далее подробно описан процесс обработки снимка *Landsat* 1966 г.

Кроме этого, современная доступность *GPS*-технологий и некоторых моделей приборов позволяет сравнительно просто и дешево определять изменения конфигурации береговой линии для достаточно протяженных участков побережья. При этом относительно невысокая точность позиционирования простейших из них может быть скомпенсирована привязкой нескольких точек к более надежным данным.

В качестве материала для выполнения анализа были выбраны наиболее качественные снимки, представленные сервисом *GoogleEarth* за период 2005 – 2013 гг., а также снимок высокого разрешения *USGS* 1966 г. [7].

Оценка возможностей точной привязки пространственных данных космических наблюдений. Поскольку поставленную задачу предполагалось решать путем оцифровки спутниковых изображений разных лет, необходимо было предварительно убедиться в надежности методов определения пространственного положения границ пляжа и оценить величину неизбежной погрешности. Так, предварительно оцифрованные с экрана программы *GoogleMaps* при максимальном увеличении контуры уреза воды в зоне пляжа, включая северную границу первой (со стороны соседнего пляжа) буны показали картину, южный фрагмент которой отображен на рис.3.



Р и с . 3 . Южный фрагмент оцифрованных линий уреза воды.

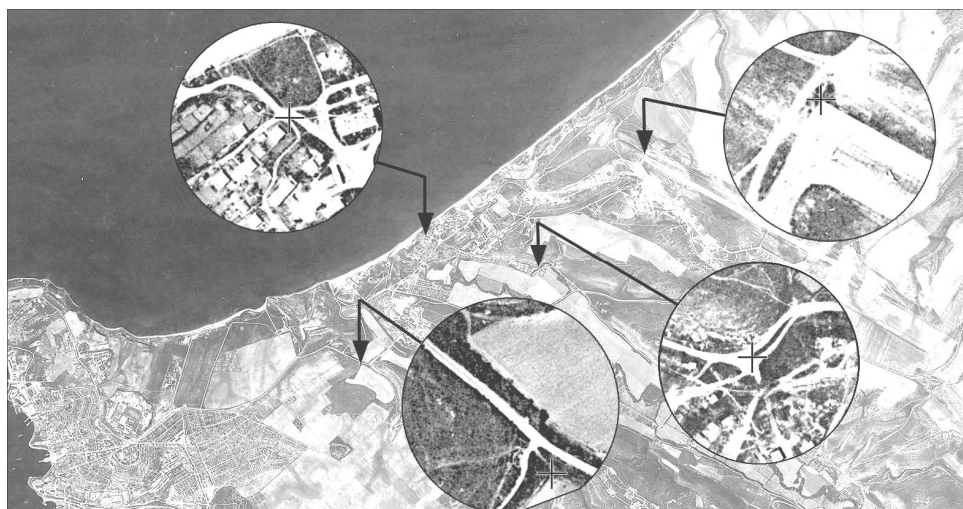
Полученная схема отчетливо показывает, что разброс точек пространственного положения неподвижных объектов (на примере буны) составляет около десяти метров, что очевидно совпадает с погрешностью определения пространственного положения с использованием технологии *GPS*. Однако, помимо рассмотренной схемы как собственными, так и доступными наблюдениями пользователей *GPS*-приборов [5] установлено, что приводимые в инструкциях допустимые погрешности позиционирования являются абсолютными, т.е. допустимыми отклонениями в процессе выполнения разных серий съемок, в то время как отклонения точек в отдельной непрерывной съемке обычно значительно ниже.



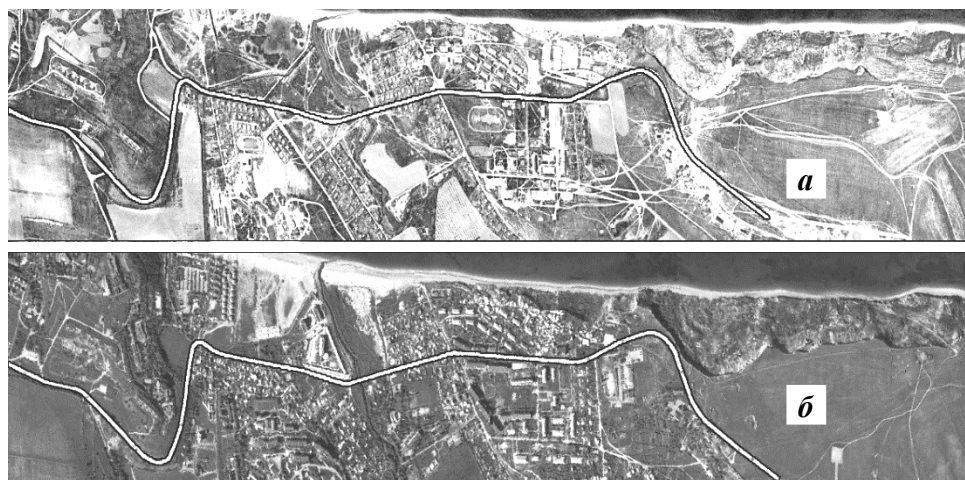
Р и с . 4 . Точки маршрута движения автомобиля, записанные перед съемкой.

Так, в качестве демонстрации указанных наблюдений на рис.4 приведен маршрут движения, записанный из автомобиля в районе пляжа пос.Любимовка. При этом отчетливо видно, что точки движения "ложатся" на дорогу с погрешностью не более 2 м.

Таким образом, подобные результаты, при соответствующей пространственной привязке к реперным точкам и принятой "горизонтальной" точности, например, в кадастровых измерениях [1] в 1 м вполне могут считаться удовлетворительными, тем более, что "ожидаемая" изменчивость района исследований оценивается в [6] значительно большими ежегодными величинами. С учетом этого, а также имеющегося большего или меньшего "сдвига" неподвижного объекта (буны) в пространстве, а также необходимости оцифровки контура пляжа по снимку 1966 г, когда указанная буна вовсе отсутствовала, следовало выбрать другие неподвижные в пространстве точки привязки пространственных данных, отчетливо выделяющихся на всех снимках. Наиболее часто такими точками являются перекрестки дорог, однако в настоящей работе, наряду с двумя точками, соответствующими перекресткам, выбраны еще две – угловая точка западной границы взлетной



Р и с . 5 . Точки привязки снимков.



Р и с . 6 . Результаты пространственного наложения контура дороги на космические снимки пос.Любимовка 1966 (а) и 2013 (б) гг.

полосы качинского аэродрома и граница участков виноградников, отчетливо определяемая на всех изображениях (рис.5). В немалой степени выбор точек обусловлен их равномерным расположением относительно исследуемого пляжа и обеспечивающим достаточно точную привязку, как по длине, так и по широте.

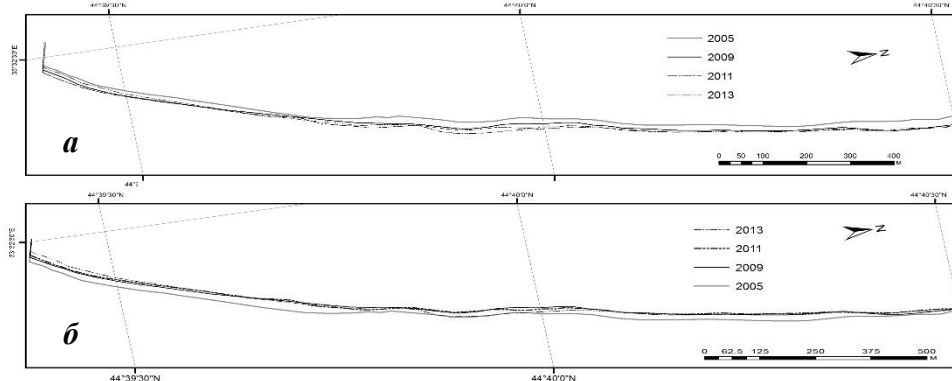
Конкретные величины пространственного положения указанных точек взяты из сервиса *Google Earth*, поскольку в настоящей работе оценивается не абсолютное, а относительное смещение береговой линии. Убедительным показателем правильности указанного подхода послужила оценка совмещения одного и того же контура основной дороги пос.Любимовка в разные годы после привязки (рис.6).

Результаты пространственной привязки и оцифровки аэрофотоснимков. В качестве начального, наиболее раннего картографического характера для анализа был выбран космический снимок высокого разрешения, полученный в процессе выполнения геологической съемки *USGS (United States Geological Survey)* американским спутником *Landsat* в 1966 г. с разрешением 3630 dpi (пикселей/дюйм) и свободно доступный на сайте проекта. Пространственная привязка (геокодирование) выполнялась непосредственно в *ArcGIS* встроенным инструментом "*Georeferencing*" с использованием в качестве точек привязки хорошо идентифицируемых объектов (рис.5). При этом среднеквадратичное отклонение точек привязки составляет всего 0,00008. На рис.7 представлена зона пляжа этого снимка.

Как упоминалось выше, благодаря представленным сервисом *Google Maps* наборам исторических снимков, появилась возможность оценивать динамику прибрежной зоны моря за последние 7 – 9 лет (для разных районов



Р и с . 7 . Снимок USGS 1966 г., зона пляжа.



Р и с . 8 . Пространственное представление оцифрованных линий уреза воды: соответствующие *Google Maps* (а); смещенные к точке привязки (б).

Крыма). Так, первый *Google* снимок датируется 2002 г., однако изучаемый район на нем практически не проработан. Наиболее ранний снимок района пляжа достаточно высокого качества соответствует 2004 г. (17 апреля), хотя прибрежная зона также смазана. В этом случае в качестве рабочего материала выбраны снимки достаточного хорошего качества за 2005, 2009, 2011 и 2013 гг., т.е. за нечетные годы, за исключением 2007 г., соответствующий снимок которого отсутствует (рис.8). В дальнейших расчетах данные 2007 г. брались из результатов натурных измерений.

С учетом упомянутых выше имеющихся отклонений положения опорной точки, а значит и всех точек каждой серии на *Google* – снимках разных лет было принято применяв-

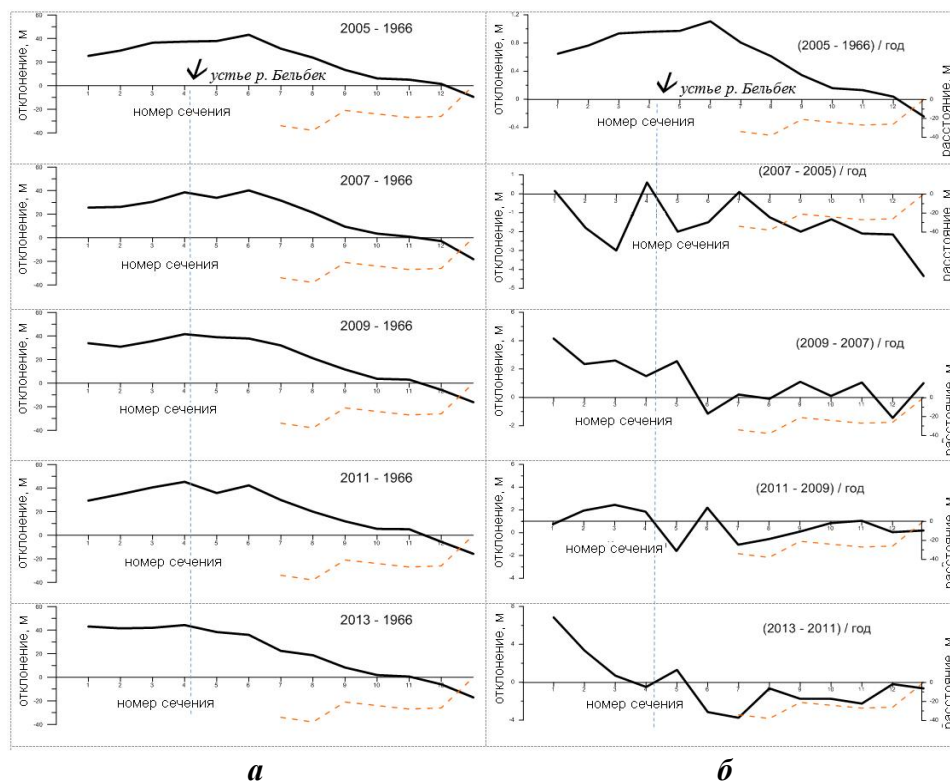
Т а б л и ц а 1. Отклонения профилей от базового (в метрах).

№ сечения	годы				
	2005 – 1966	2007 – 1966	2009 – 1966	2011 – 1966	2013 – 1966
1	25,3	25,6	31,9	32,4	43,1
2	29,8	26,2	30,9	34,8	41,5
3	36,5	30,5	35,7	40,6	42,0
4	37,4	38,6	41,6	45,3	44,3
5	37,9	33,9	39,0	35,8	38,4
6	43,2	40,2	37,9	42,3	36,0
7	31,4	31,6	32,0	29,9	22,4
8	23,8	21,3	21,1	20,0	18,7
9	13,4	9,4	11,6	11,8	8,3
10	6,2	3,5	3,7	5,4	1,9
11	5,1	0,9	3,0	5,1	0,6
12	1,5	– 2,8	– 5,7	– 5,6	– 6,0
13	– 9,5	– 18,2	– 16,2	– 15,8	– 17,1

шееся и ранее решение о пространственном сдвиге каждой серии точек с целью совмещения опорной точки серии с точкой, принятой за основу. В качестве последней выбрана точка 2005 г., как наиболее ранняя и репрезентативная в серии *Google* – снимков изучаемого района. С целью измерения пространственных отклонений линий уреза воды (в метрах) карта, представленная ранее на рис.8, б, была спроецирована в метрическую систему координат.

Далее, по результатам построения были измерены отклонения каждого профиля

от базового 1966 г. по каждому сечению (табл.1).



Р и с . 9 . Графики отклонений линий уреза воды: от базового (а) и средние за год (б); пунктирная линия соответствует положению клифа.

Построенные по тем же данным, а также имеющимся натурным измерениям 2007 г. графики отклонений приведены на рис.9.

Обсуждение результатов. В процессе анализа результатов необходимо было учесть один важный момент, а именно тот факт, что положение устья р.Бельбек на протяжении последних нескольких метров перед выходом в море склонно сильно флуктуировать (в последнее десятилетие оно "блуждало" в пределах около 250 м (примерно от 4-го до 5-го сечений на рис.9). Поэтому некоторые "резкие броски" линейных графиков среднегодовых смещений (рис.9, б) в этом районе не вызывают удивления. Что касается графиков, изображенных на рис.9, а, то бросается в глаза их достаточно схожий характер. Это и неудивительно, поскольку временной отрезок с 1966 г. значительно превышает период с 2005 по 2013 гг. и, соответственно, диктует свои характерные особенности. Так, береговая линия на южном участке с 1966 г. сместилась в сторону моря на 20 – 40 м, при этом большие значения наблюдаются в районе устья р.Бельбек. Принимая во внимание южное направление вдольберегового течения, указанный факт неудивителен и свидетельствует об отложении основной массы взвесей, выносимых рекой непосредственно в районе устья.

Практически горизонтальная линия на графике 2013 – 1966 может указывать на наличие в период 2011 – 2013 гг. какого-то дополнительного фактора, дополняющего объем наносов в южной части пляжа. Таким фактором может служить незаконная добыча песка в районе пляжей "Учкуевка" – пос.Любимовка, неоднократно наблюдавшаяся в этом районе в последние годы, наряду с "нашумевшим" в этом плане м.Фиолент, которая с учетом указанной ранее буны в южной части пляжа могла "концентрировать" поставляемую этим процессом взвесь в указанной зоне.

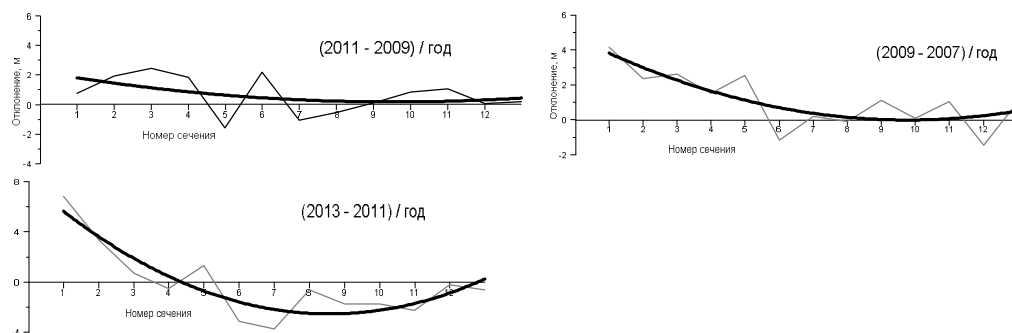
Характер кривой, соответствующий участку несколько севернее устья реки, не сильно отличается от описанного выше и, по-видимому, объясняется непостоянством направления вдольберегового течения одновременно с переменным направлением штормового прибоя.

Как уже отмечалось, северный участок характеризуется наличием клифа (пунктирная линия на рис.9), который в крайней правой точке образует естественную границу пляжа, выдвигаясь непосредственно до уреза воды. В рассматриваемом периоде естественные природные процессы приводили к постепенному разрушению клифа и смещению уреза воды в сторону берега на величину около 7 – 8 м. Участок клифа между сечениями 8 и 12 удален от берега на расстояние около 10 м и подвержен разрушению в меньшей степени.

Следует помнить, что в пределах рассматриваемых условных границ происходило наложение описанных процессов, что приводило к смешанному воздействию на береговую зону и к соответственному отражению на кривых смещения.

Переходя к графикам среднегодовых отклонений, представленных на рис.9, б, следует отметить, что они более информативны. Как и следовало ожидать, характер первой зависимости повторяет структуру графика, расположенного слева, лишь с меньшими значениями. Достаточно разнообразный характер следующих зависимостей свидетельствует о непостоянстве природных процессов прибрежной зоны этого региона. Хотя среднегодовая изменчивость положения береговой линии в периоды 2007 – 2009 и 2011 – 2013 гг., в основном, сходны. Видимое сходство подтверждается и аппроксимированной полиномиальной зависимостью (рис.10), свидетельствующей о том, что линия берега в южной и северной зонах пляжа в пространственном отношении более устойчива, чем в центральной. Именно такой характер процессов представляется наиболее обоснованным. Так, наличие устья реки с соответствующим выносом взвеси в южном направлении вдольбереговым течением и наличием физического препятствия в южной части пляжа в виде буны приводит к накоплению наносов в этой зоне.

По мере продвижения на север от устья реки процессы накопления – размыва достаточно сбалансированы и вызваны, по-видимому, комплексом разнообразных причин, включая размыв клифа и отложение наносов, поступающих течением с севера. График среднегодовых отклонений периода



Р и с . 1 0 . Аппроксимированные кривые среднегодовых отклонений береговой линии для 2007 – 2009 гг. и 2011 – 2013 гг.

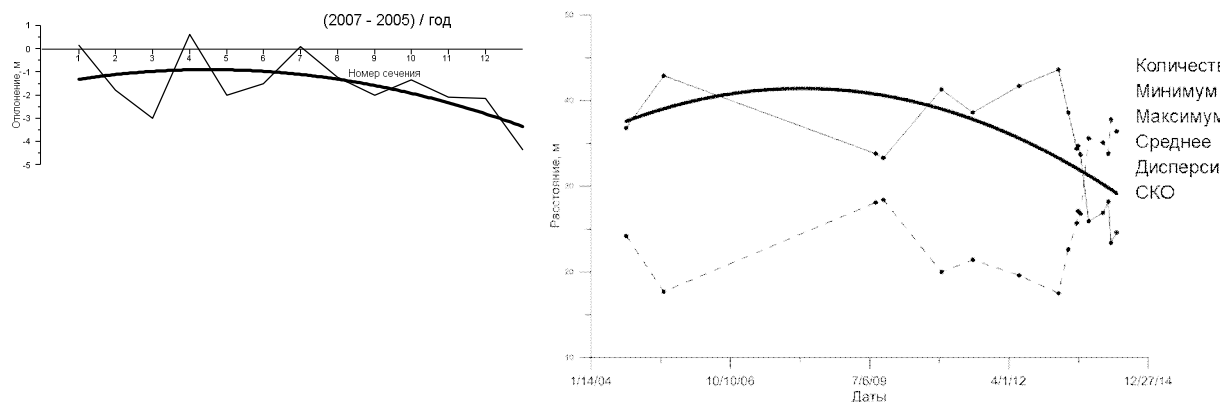
Р и с . 1 1 . Аппроксимированная кривая среднегодовых отклонений береговой линии для 2009 – 2011 гг.

2009 – 2011 гг., на первый взгляд представляется значительно выделяющимся из описанной выше тенденции (рис.11). Однако аппроксимированная кривая выдерживает характер соответствующих кривых для других рассмотренных выше периодов.

При этом на графике заметно выделяется левый (южный) участок кривой, характер которого прямо противоположен остальным кривым на рис.9. Анализу такого поведения было уделено особое внимание. Чисто физически это может быть связано с какими-то дополнительными факторами, наиболее вероятный из которых соответствует прохождению непосредственно перед съемкой 2011 г. шторма с ветровым воздействием северного или северо-восточного направления, которое и способствовало выбросу части пляжевого материала на берег.

Для проверки этого предположения были построены профили первого поперечного сечения пляжа (примыкающего к буне) по данным *Google* за период 2004 – 2014 гг. Для повышения точности измерялись 2 величины: от крайней точки буны до уреза воды и от уреза воды до основания буны (рис.12).

Проверка точности измерений выполнялась по оценке суммарной величины, которая должна быть постоянной. В процессе анализа использовались 17 снимков, при этом большая их часть соответствует периоду 2009 – 2014 гг. При этом обе симметричные кривые и статистические данные показывают, что при погрешности в 0,6 м положение уреза воды не имеет устойчивой тенденции смещения и пространственный разброс ее положения в течение указанного периода составил 20,2 м. Такая величина свидетельствует о том, что анализировать внутригодовые изменения положения уреза воды нужно крайне осторожно и с обязательным учетом метеорологических и гидрологи-



Р и с . 1 2 . Пространственная изменчивость положения линии берега в точке контакта с буной: расстояния до крайней точки буны (---), до основания буны (- - -); аппроксимированная полигоном верхняя линия (—).

Р и с . 1 3 . Аппроксимированная кривая среднегодовых отклонений береговой линии для 2005 – 2007 гг.

ческих факторов района. Кроме того, даже межгодовую изменчивость следует анализировать не по первичным результатам наблюдений, а по сглаженным кривым для ряда лет. Обсуждая характер такой кривой для одной лишь точки берега (рис.12), можно отметить, что первая ее половина, при наличии всего 3-х точек вряд ли достоверна, в то время как правая половина отчетливо свидетельствует об устойчивом сокращении расстояния от крайней точки буны до уреза воды, т.е. о выдвигении берега в сторону моря.

В заключение необходимо вспомнить о пропущенном ранее рисунке, соответствующем среднегодовой динамике 2005 – 2007 гг. (рис.9, а). С учетом отмеченного выше ограниченного набора данных для этого периода и, как следствие, повышенной погрешности, в целом аппроксимированная кривая, представленная на рис.13 вполне соответствует тому же периоду на рис.12. Однако не следует забывать, что кривая на рис.12 отражает пространственное перемещение всего одной точки пляжа, в то время как кривая на рис.13 демонстрирует динамику смещения всей его береговой линии.

Выводы. Как уже не раз отмечалось в последнее время различными авторами, современные спутниковые изображения при правильном их использовании вполне позволяют выполнять пространственный анализ с точностью до нескольких метров. С использованием спутникового изображения высокого разрешения 1966 г., а также современных растровых изображений и результатов собственных измерений показано, что пляж рекреационной зоны пос.Любимовка с уверенностью может рассматриваться, как три отдельные природные зоны, разграниченные устьем р.Бельбек и началом клифа, о чем ранее высказывались лишь теоретические предположения.

Полученные результаты свидетельствуют о значительной (до 40 м) динамике береговой линии пляжа пос.Любимовка в различных его точках в

разные временные периоды, при этом в последнее десятилетие наблюдались смещения отдельных точек на расстояние до 20 м.

Основная тенденция заключается в постепенном разрушении клифа в северной части пляжа и накоплении осадочного материала в южной. Дополнительным вкладом в этот процесс является вынос взвеси устьем р.Черной.

Исследования проведены в Морском гидрофизическом институте при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 гг.» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Долотов В.В., Иванов В.А.* Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007.– 192 с.
2. *Удовик В.Ф., Долотов В.В.* Современное состояние и тенденции динамики береговой зоны в районе пляжа пос.Любимовка // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– С.92-99.
3. *Горячкин Ю.Н., Харитонов Л.В.* Изменения береговой линии Крыма по спутниковым данным // Причорноморський екологічний бюлетень «Стан та проблеми берегової зони морів України».– 2010.– вип.1(35).– С.122-129.
4. *Обзор космических съемочных систем высокого разрешения.* <http://vinek.narod.ru/satellites.html>
5. *Сравнение Centrality Surf Atlas, MTK, SiRFstar, Sirf Prima.* Интернет-страница форума <http://forum.gps-navi.com.ua/viewtopic.php?f=2&t=121>
6. *Шуйский Ю.Д.* Процессы и скорости абразии на украинских берегах Черного и Азовского морей // Изв. АН СССР. Сер. географ.– 1974.– № 6.– С.107-117.
7. *Интернет-портал сервера USGS.* <http://landsat.usgs.gov/>

Материал поступил в редакцию 01.12.2014 г.

АНОТАЦІЯ Проаналізовано динаміку берегової лінії одного з пляжів Севастопольського району за період 1966 – 2013 рр. Для аналізу використано масив космічних знімків *USGS* 1966 р., а також знімки *GoogleMapsc* 2007 по 2013 рр. Проаналізовано можлива похибка геоприв'язки знімків за фіксованими точкам на місцевості. Показано, що пляж з упевненістю може розглядатися, як три окремі природні зони. Основна тенденція динаміки полягає в поступовому руйнуванні Кліфа в північній частині пляжу і накопиченні осадового матеріалу в південній.

ABSTRACT The dynamics of one of the Sevastopol beaches shoreline in 1966 – 2013 is studied. To analysis the array of satellite images *USGS* in 1966, as well as pictures *GoogleMapsc* from 2007 to 2013 is used. A possible error of image georeferencing at fixed points on the ground is analyzed. It is shown that the beach can be considered as three separate natural areas. The main trend of the dynamics is the gradual destruction of the cliff in the northern beach and the accumulation of sediment in the south one.