

海平面上升的灾害效应研究 ——以江苏沿海低地为例

李加林^{1,2}, 王艳红³, 张忍顺³, 葛云健³, 齐德利¹, 张殿发²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 宁波大学人居环境研究所, 浙江 宁波 315211; 3. 南京师范大学海洋与滩涂研究所, 江苏 南京 210097)

摘要: 海平面上升是全球变暖和沿海地区人类活动加剧的必然结果, 其灾害效应直接影响沿海地区社会经济的持续发展。文章运用地面沉降与绝对海面变化叠加法和潮位记录法, 预测未来 30 年, 50 年和 100 年江苏沿海海平面将分别上升 0.30 m, 0.53 m 和 1.37 m。在此基础上, 对不同海平面上升量引起的风暴潮灾害、海岸侵蚀、潮滩盐沼损失、涵闸破坏、洪涝灾害加剧和海堤工程受损等方面的灾害效应进行了定量分析, 并对江苏沿海低地进行分区灾害预警, 认为海平面上升后的灾害效应在江苏中部海积平原表现得最为严重, 废黄河三角洲平原和长江三角洲平原中等, 而海州湾海积平原最轻。

关键词: 海平面上升; 灾害效应; 江苏沿海低地; 灾害预警

中图分类号: P343 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)01-0087-07

未来海平面上升将对世界沿海地区构成严重威胁, 并成为全球最大的潜在自然灾害^[1]。海平面上升的灾害效应是指潮汐、波浪、径流和泥沙运动等海洋动力条件的变化对海岸带海-陆交互系统的空间分布和内部过程的影响, 主要表现在风暴潮灾害、海岸侵蚀、潮滩盐沼损失、涵闸破坏、洪涝灾害加剧和海堤工程受损等方面。由于沿海地区是全球人口最集中、经济最发达的地区, 海平面上升的灾害效应引起了世界各国政府和科学界的广泛关注, 并取得了不少有价值的成果^[1~12]。

江苏沿海海岸线漫长, 潮滩湿地资源丰富, 沿海低地平原平均高程约 3 m, 在空间上主要表现为明显的四大地貌单元, 北部的海州湾海积平原、废黄河三角洲平原、中部沿海海积平原及南部长江三角洲平原(图 1), 是江苏乃至全国重要的农业产区。它所处的中纬位置及滨海低洼的地势条件, 使得海平面上升的灾害效应尤为明显。季子修、杨桂山等学者从不同方面对江苏沿海海平面上升的各种灾害性影响进行过较多研究, 也得出了一些重要结论^[13~18]。本文将通过多方案预测未来 100 年江苏沿海海平面上升趋势, 并较全面地定量分析在相

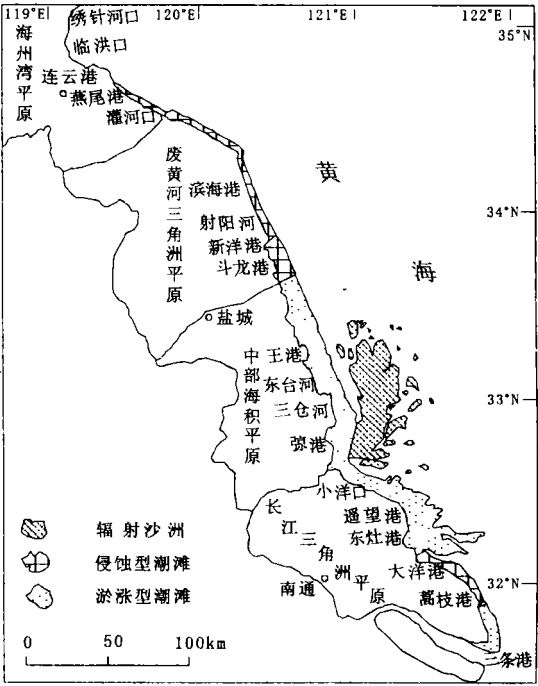


图 1 江苏沿海低地区位

Fig 1 Distribution of Jiangsu coastal low lands

应海平面上升量下江苏沿海低地的各种灾害效应, 并进行灾害分区预警, 为防灾减灾决策提供参考。

收稿日期: 2004-10-27 修订日期: 2005-03-22
基金项目: 浙江省自然科学基金(Y505032)、中国博士后科学基金(2005037428)、宁波市科技局项目(2003A62029)资助。
作者简介: 李加林(1973-), 男, 浙江台州人, 博士后, 主要从事全球变化信息和海岸环境方面的研究。E-mail: nbnj2001@163.com

1 江苏沿海海平面上升预测

1.1 地面沉降与绝对海面变化叠加法预测未来相对海平面变化 (方案一)

区域相对海平面变化既受全球海平面变化的控制, 又受陆地地形变和海面长周期变化的影响。用地面沉降与绝对海面变化叠加法预测未来相对海平面变化的前提, 是假设相对海面变化只决定于绝对海面变化和地面沉降, 而地面沉降只考虑地壳升降、均衡沉降和压实沉降过程, 地面沉降速率在未来 100 年海面加速上升的同时保持不变。这样就

有公式:

$$R_{rsl} = R_b + R_{esl}$$

(1)

式中, R_{rsl} 为相对海平面变化速率, R_b 为地面沉降速率, R_{esl} 为绝对海面变化速率。

江苏沿海处于地壳运动的沉降区域, 在巨厚的新成松散沉积物作用下, 均衡沉降亦很明显, 同时还有松散沉积物自身的压实作用, 这使得江苏沿海地面沉降的影响因素显得较为复杂。根据江苏沿海全新世以来沉积特征的分析和各种沉降速率的计算^①, 叠加绝对海平面变化, 得到江苏沿海未来 100 年的相对海平面上升速率预测结果^① (表 1)。

表 1 未来 100 年江苏沿海相对海平面上升速率预测 (方案一)

Table 1 Assessment of relative sea level rise in the coming century (project 1)

项目		绝对海面上升	构造沉降速率	压实沉降速率	均衡沉降速率	地面总沉降	相对海面上升	相对海面上
		(cm / a)	(cm / a)	(cm / a)	(cm / a)	速率 (cm / a)	速率 (cm / a)	升量 (cm)
2000~ 2030	最大值	0. 425	0. 020	0. 022	0. 300	0. 342	0. 767	23. 0
	最佳值	0. 270	0. 015	0. 017	0. 215	0. 247	0. 517	15. 5
	最小值	0. 070	0. 010	0. 012	0. 130	0. 152	0. 222	6. 7
2031~ 2050	最大值	0. 500	0. 020	0. 022	0. 300	0. 342	0. 842	16. 8
	最佳值	0. 400	0. 015	0. 017	0. 215	0. 247	0. 647	12. 9
	最小值	0. 073	0. 010	0. 012	0. 130	0. 152	0. 225	4. 5
2051~ 2100	最大值	1. 120	0. 020	0. 022	0. 300	0. 342	1. 462	73. 1
	最佳值	0. 500	0. 015	0. 017	0. 215	0. 247	0. 747	37. 4
	最小值	0. 076	0. 010	0. 012	0. 130	0. 152	0. 228	11. 4

注: 表中绝对海平面上升量参考 PCC 报告 (2001)。

1.2 潮位记录法预测未来相对海平面变化 (方案二)

区域性的长时间序列潮位资料可用于研究相对海平面变化。用潮位记录法预测未来相对海平面变化的前提, 是相对海平面变化是绝对海面变化和区域性影响因素叠加的结果, 且这些因素在未来 100 年内保持不变, 平均高潮位的变化速率与当地平均海平面的变化速率一致。因此有公式

$$R_{rsl} = R_{rf} + R_{esl}$$

(2)

式中, R_{rsl} 为相对海面变化速率, R_{rf} 为区域性因素引起的相对海面变化速率, R_{esl} 为绝对海面变化速率。

由于拦门沙的存在, 江苏沿海部分验潮站的低潮位记录失真, 平均潮位难以反映当地真实的平均海面。因而本研究用平均高潮位代替平均潮位计算海平面变化速率。选择江苏沿海 6 个验潮站 (由北到南依次为: 射阳河闸、斗龙港闸、东台河闸、小洋口闸、遥望港闸、三条港闸) 1968~ 2000 年 33 年间 (东台河闸口验潮站已于 1996 年底撤除, 故数据只到 1996 年底) 的月平均高潮位进行 12 个

月滑动平均处理, 得到该区域平均高潮位在过去 33 年 (1968~ 2000 年) 中的平均上升速率 0. 29~ 1. 00 cm / a, 以吴淞站的长时段潮位资料进行的回归分析, 得到平均潮位上升速率为平均高潮位上升速率的 0. 93 倍, 假定相对海面上升速率与平均潮位变化一致, 经校正后可得到相对海面上升速率为 0. 27~ 0. 93 cm / a, 过去 100 年绝对海面变化速度取 IPCC 2001 年公布的 0. 10~ 0. 25 cm / a, 由此得到江苏沿海海面变化速率及未来 100 年相对海平面上升预测结果^① (表 2)。

1.3 相对海平面上升预测结果的评估分析

以上两种方案都是基于 IPCC 2001 年报告中对未来绝对海面上升预测结果进行的。由于方案一只考虑地面沉降和绝对海面变化的影响, 而方案二将所有影响因素作为整体加以考虑, 而其中许多因素有较大的不确定性, 所以其结果的变化范围相对偏大。由于海平面变化是全球共性的问题, 为了佐证可信度, 本预测结果需要与中国沿海其它地区

① 王艳红. 江苏沿海相对海平面变化及其对辐射沙洲的影响. 南京师大硕士学位论文, 2003: 37~ 40.

表 2 未来 100 年江苏沿海相对海平面上升速率预测 (方案二)
Table 2 Assessment of relative sea level rise in the coming century (project 2)

项	目	$R_{est}(\text{cm/a})$	$R_{rf}(\text{cm/a})$	$R_{rs1}(\text{cm/a})$	相对海面上升量 (cm)
2000~ 2030	最大值	0.425	0.830	1.255	37.65
	最佳值	0.270	0.430	0.700	21.00
	最小值	0.070	0.020	0.090	2.70
2031~ 2050	最大值	0.500	0.830	1.330	26.60
	最佳值	0.400	0.430	0.830	16.60
	最小值	0.073	0.020	0.093	1.86
2051~ 2100	最大值	1.120	0.830	1.950	97.50
	最佳值	0.500	0.430	0.930	46.50
	最小值	0.076	0.020	0.096	4.80

注:表中绝对海平面上升量参考 PCC 报告 (2001)。

过去海平面上升速率与未来预测研究的相关成果进行纵横向对比。相关研究表明,过去 40 年上海地区平均海平面上升速率为 2.03~2.94 mm/a^[19];广东沿海、香港近 40 年的海平面上升速率分别为 2.0~2.5 mm/a 和 1.4~1.9 mm/a^[20];吴中鼎等认为中国海平面最近的上升速率已达 3.59 mm/a^[21]。相关预测研究表明,山东半岛海平面上升值在 2030、2050、2100 年分别 -2.5~1.1 cm, 1.9~4.6 cm 和 19.9~34.5 cm^[3]。上海地区到 2010、2030、2050 年的上升量分别达 15~20 cm, 25~35 cm 和 40~50 cm^[19]。本研究得到的江苏沿海相对海平面上升速率及预测值总体上高于中国沿海其它地区的有关成果。由于江苏沿海在大地构造上大部分属扬子准地台,处于新构造运动的沉降区,同时本区全新世地层还普遍存在较大的地壳均衡沉降和沉积物压实沉降作用,故地面垂直变化量在海平面上升量中占有较大比重。国家海洋局发布的中国海平面公报也表明,江苏沿海近几十年来的相对海平面平均上升速率列全国各省之首。因此,这也从侧面佐证了本研究的预测结果是合理、可信的。

由于本文目的主要是研究海平面上升的灾害效应,为沿海地区防灾减灾提供基础数据,因此,我们以两预测方案最大值的平均值 30 cm (2030 年), 53 cm (2050 年) 和 137 cm (2100 年) 作为江苏沿海未来相对海平面上升量的推荐值,用于海平面上升的灾害效应研究。

2 江苏沿海海平面上升的灾害效应

2.1 风暴潮

不同海平面上升量下的可能最高潮位为天文

潮位、海面上升量及相应最大可能增水值之和^[21]。海平面上升将导致江苏沿海同一高度的风暴潮频率和强度大大提高。通过不同海平面上升量下的可能最高潮位计算可知,海平面上升 30 cm, 燕尾港、新洋港、大洋港百年一遇的风暴潮位将变为不到 50 年一遇;海平面上升 53 cm, 小洋口百年一遇的风暴潮位也将变为 50 年一遇。

江苏沿海低地高程普遍较低,废黄河三角洲平原平均高程仅为 1.3~2.5 m;江苏中部海积平原射阳河-斗龙港岸段为 1.3~3.0 m,斗龙港-北凌河岸段为 3.0~4.5 m;长江三角洲平原的高程为 2.0~4.5 m,海州湾淤泥质海积平原的高程为 2.5~4.0 m;海州湾北部剥蚀海积平原高程在 4.0 m 以上。整个低地平原大部分地区的高程都在 1949 年以来相应河口实测特大潮最高潮位之下。海平面上升将使得江苏沿海风暴潮出现的频率和强度明显增加,一旦风暴潮冲决海堤,再叠加 1 m 的风暴潮增水,江苏沿海低地将直接暴露在风暴潮的影响之下,风暴潮的影响将波及整个江苏沿海低地平原。通过高程面积法分析可知,受影响最大的为长江三角洲平原,其次为江苏中部海积平原和废黄河三角洲平原,影响最小的是海州湾海积平原。

2.2 海岸侵蚀

海岸侵蚀的原因相当复杂,海平面上升是其中一个重要因素。自 1962 年以来, Bruun 定律已为实验室和野外观察所证实,可用来计算海滩侵蚀量及岸线后退量。其公式为:

$$\alpha = (h/L) * S \tag{3}$$

式中, α 为海面上升量, h 为海滩剖面高度, L 为活动海滩剖面宽度, S 海滩横剖面向岸迁移值。对于平直或变化平缓的海滩,斜率 h/L 可用平均坡度

$\tan\theta$ 表示。

运用 Bruun定律,按自由均衡剖面可计算不同海平面上升量引起的江苏沿海各岸段海岸可能后退距离。结果表明,不同海平面上升量引起的海岸可能后退距离以射阳河-东灶港岸段最大,次为东灶港-启东咀、临洪口岸段、拓汪以北,最小的为拓汪-兴庄河和大板跳-射阳河段。以海平面上升137 cm为例,射阳河-东灶港岸段的可能后退距离达4 567~13 700 m;拓汪-兴庄河口岸段可能后退距离仅为228~913 m。而实际上,江苏沿岸全部有海堤分布,海岸位置受人工控制相当明显,海平面上升后,海滩剖面不可能完全表现为海滩横剖面保持原状向岸平移。在海滩剖面移至海堤位置时,海滩剖面形态必将发生变化,出现下蚀现象,整个剖面宽度也将变窄。因此,除射阳河-东灶港的堆积型岸段由于宽10~13 km的潮间带浅滩及岸外辐射沙洲的存在,岸线有较大的后退余地外,其它岸段由于海堤保护,后退余地较小,拓汪-兴庄河、大板跳-射阳河、东灶港-蒿枝港等侵蚀型岸段表现为下蚀为主,其它岸段则表现为后退和下蚀同时存在。

2.3 潮滩及盐沼损失

海面上升引起潮滩盐沼损失的预测方法有高程面积法、沉积速率法和数值模拟法3种,目前较常用的是前二种方法。本文在前两种方法基础上引入冲淤趋势参数计算海平面上升造成的潮滩和盐沼面积损失^[23]。结果表明,海平面上升引起的江苏沿海潮滩损失以江苏中部沿海及岸外沙洲最为明显,在0.30、0.53 m和1.37 m的海平面上升量下,潮滩面积损失分别达199、290和698 km²;废黄河三角洲次之,分别为167、282和592 km²;长江三角洲最少,分别为30、45和100 km²。

海平面上升在引起江苏沿海潮滩侵蚀加剧或淤涨减缓,造成潮滩面积减少的同时,也造成盐沼生态系统的退化。灌河口至射阳河口盐蒿滩盐沼将因潮浸频率增加而退化为光滩;射阳河口至斗龙港岸段的茅草滩盐蒿滩将分别退化为盐蒿滩和光滩。东灶港至连兴港的互花米草滩也将因侵蚀加剧或淹没而退化为光滩。

2.4 涵闸破坏

海平面上升对涵闸工程的影响可用漫顶率和闸下设计高潮位频率两个指标来衡量^[17]。不同海平面上升量下的涵闸漫顶机率计算表明,海平面上

升将造成江苏沿海所有涵闸漫顶机率增加。当海平面上升0.3 m时,可能最大潮高有可能造成小洋口闸漫顶;当海平面上升0.53 m时,三仓闸也将受漫顶影响;当海平面上升1.37 m时,还将造成东台河闸和斗龙港闸漫顶。由于闸顶高程与可能最大潮位相差太小,目前小洋口闸和东台河闸已经改建,从长远看,斗龙港、王港和三仓等闸的改建也要列入规划。

现状条件下江苏沿海各涵闸设计最高潮位出现的频率都非常低,如射阳河闸的设计高水位远远高于可能最大潮高,新洋港闸、斗龙港闸、王港闸、东台河闸、三仓闸和小洋口闸的设计高水位也分别相当于30Q、50Q、50Q、70Q、15和25年一遇^[17]。通过不同海平面上升量下代表性涵闸下游设计最高潮位概率变化计算可知,海面上升将使得同一高水位出现频率明显增加。如当海平面上升0.53 m时,斗龙港闸、王港闸、东台河闸、三仓闸和小洋口闸的设计高水位分别相当于1Q、1Q、18Q和6年一遇,当海平面上升1.37 m时,上述5闸的设计高水位则分别为4Q、4Q、2Q和2.5年一遇,涵闸遭受破坏的机会明显增大。

2.5 洪涝灾害

苏北低地的地面坡降较小,一般在0.2‰~2.0‰左右。水面比降更小,平均值为0.04‰,河道排水极慢,主要排水干道射阳河,行洪期流速仅0.3 m/s^[16]。苏北低地系统内的积水主要北排入黄海。沿海地区潮差北部偏小,不利于泄洪。射阳河、新洋港、斗龙港、过船港和夏仕港的行洪地表水位分别为0.786、0.778、1.02、2.598和2.353 m^[7],苏北低地河渠平均水位与海平面上升后的潮位特征比较表明,海平面上升使得沿海各行洪河渠的多年平均高、低潮位明显增高,造成沿海各行洪河渠每潮行洪时间大大缩短,行洪流速极其缓慢,洪水因外泄滞缓,极易在低洼处积聚而加剧洪涝灾害。0.30 m的海平面上升量就将导致射阳河闸排水能力、排水时间和一潮排水量分别减小7%、12%和18%。0.53 m的海平面上升量将导致射阳河闸排水能力、排水时间和一潮排水量分别减小13%、19%和62%。而当海平面上升为1.37 m时,射阳河、新洋港和斗龙港的闸下低潮位分别达0.85、0.91和1.12 m,已高于相应河道的行洪地表水位,洪水根本无法外泄。如降雨过程与天文大潮引起的风暴潮叠加,近海地带增水超过1 m以上,

绝大部分沿海涵闸低潮位将高于河渠行洪地表水位,整个苏北低地都将因潮水顶托倒灌、降水无法外泄而遭受洪涝灾害之苦。

2 6 海堤受损

江苏沿海地势低平,相当部分地面高程低于当地平均高潮位,完全靠海堤保护,一线海堤长 690 km。本区海堤以防潮标准不高的土堤为主,起围高程一般也在平均高潮位附近,而且所修筑的护坡工程顶高普遍偏低。

根据上述未来海平面上升的不同预测值,考虑波浪爬高,可计算历史最高潮位在未来可能达到的高度,再与现状海堤高度比较,即可得到海平面上升对海堤的可能影响。结果表明,小洋口、东台河闸及滨海港附近 3 段海堤受海平面上升的影响最为明显。当海平面上升 0.30 m 时,可能最高潮位就接近堤顶;海平面上升 0.53 m 时,可能最高潮位超过堤顶;当海平面上升 1.37 m 时,可能最高潮位超过堤顶 1.00 m;大洋港、遥望港、斗龙港、新洋港、射阳河等岸段海堤在海平面上升 1.37 m 后,可能最高潮水位在堤顶高程以下 1.00 m 之内。海平面上升将使海堤外坡受海水浸泡的频率大大提高,

波浪对土堤的淘蚀作用明显增强,极易造成海堤溃决。此外,海平面上升,平均高潮位出现频率呈指数增长,平均高潮位与海堤接触的次數也呈指数增长,将对海堤安全构成严重威胁。

2 7 江苏沿海低地相对海平面上升的灾害效应预警

由于自然地理条件和海岸工程结构的差别,未来百年相对海平面上升在江苏沿海低地不同岸段引起的灾害效应也是各不相同的。为了进一步明晰相对海平面上升灾害效应的区域差异,我们将海平面上升的各种灾害效应根据预测的影响程度大小,平均划分为轻(I)、中(II)和重(III)3级,结合上文研究结果,得到江苏沿海低地不同岸段各种灾害效应的等级。然后根据预警原则,同时考虑各岸段海堤标准、涵闸设计高潮位等海岸工程防御标准、工农业布局及社会经济发展水平,利用层次分析法确定各岸段未来相对海平面上升的综合灾害效应警级(表 3)。由表 3 可知,海平面上升造成的各种灾害效应在江苏中部海积平原表现得尤为严重,属重警;废黄河三角洲平原和长江三角洲平原的灾害效应警级为中等;而海州湾海积平原为轻警。

表 3 海平面上升背景下的江苏沿海低地灾害效应预警
Table 3 Disaster prewarning of Jiangsu coastal low lands based on estimate values for relative sea level rise

海岸分段	海州湾海积平原		废黄河三角洲平原	江苏中部海积平原		长江三角洲平原	
	北部剥蚀	淤泥质		射阳河 -	斗龙港 -	北凌河 -	蒿枝港 -
	海积平原	海积平原		斗龙港	北凌河	蒿枝港	启东咀
风暴潮	I	I	II	II	II	III	III
海岸侵蚀	I	I	II	III	III	II	II
潮滩盐沼损失	I	I	II	III	III	I	I
涵闸破坏	I	I	I	I	III	II	II
洪涝灾害	I	I	II	III	III	I	I
海堤受损	I	I	III	III	III	II	I
警度	轻警	轻警	中警	重警	重警	中警	中警

3 结论与建议

3 1 结论

1) 运用地面沉降与绝对海面变化叠加法和潮位记录法对江苏沿海未来百年相对海平面变化进行了预测,并与江苏附近区域的相关研究作了纵横向对比,结果发现,江苏沿海相对海平面上升速率和上升量大于中国沿海其它地区。这与江苏沿海在大地构造上大部分属扬子准地台,处于新构造运动的沉降区,同时区内全新世地层还普遍存在较大的地壳均衡沉降和沉积物压实沉降作用有关。

2) 由于江苏沿海低地高程普遍较低,海平面上升将增加风暴潮出现的频率和强度,一旦风暴潮冲决海堤,将对整个江苏沿海低地平原产生影响。同时,由于苏北低地地面坡降较小,海平面上升将明显缩小沿海各行洪河渠行洪水面比降,造成洪水外泄滞缓,加剧洪涝灾害。如降雨过程与天文大潮引起的风暴潮叠加,则影响更为严重。

3) 海平面上升后,除射阳河 - 东灶港的堆积型岸段岸线有较大的后退余地外,其它岸段后退余地较小。大板跳 - 射阳河、东灶港 - 蒿枝港等侵蚀型岸段表现为下蚀为主,其它岸段则表现为后退和

下蚀同时存在。同时,潮滩盐沼生态系统也将因海水浸淹频率增加而退化。

4) 海平面上升将使海堤外坡受海水浸泡的频率大大提高,波浪对土堤的淘蚀作用明显增强,大潮高潮位接近堤顶的机率也将增加,极易造成海堤溃决。同时,海平面上升还将造成沿海涵闸遭受漫顶的机率大大增加,加速涵闸淤积和废弃。

5) 在分析海平面上升各种灾害效应基础上,根据江苏沿海低地的自然资源与环境特征、工农业布局及社会经济发展水平,对江苏沿海低地进行了分区预警,结果表明灾害效应在江苏中部海积平原表现为重警,废黄河三角洲平原和长江三角洲平原为中等,而海州湾海积平原为轻警。

3 2 建议

海平面变化的机理错综复杂,牵涉面十分广泛,含有诸多的不确定性,这给较长时间跨度的预测带来了相当大的困难,并将产生不可避免的误差。今后的工作应加强海平面上升及其影响研究相关基础资料的积累,加强海平面上升与其它因素协同作用的研究,加强海平面上升与海洋水沙环境演变的相关研究,建立沿海地区海平面与海岸演变信息系统,以期获取更加可靠的海平面上升预测结果。

海平面上升引起的灾害效应是一种缓慢渐变的自然灾害,对江苏沿海低地而言,灾害造成的可能损失与当地的自然地理环境及人为活动直接有关。江苏沿海低地的形成、海岸性质为海平面上升的灾害效应提供了孕灾条件,而人类对低地平原的利用、工农业布局和经济水平则直接关系到灾害所造成的损失大小。因此,在灾害分区预警的基础上,今后的研究还需加强自然和人为复合的灾害综合效应研究,以更好地服务于沿海地区的灾害防御工作。

为减轻海平面上升带来的不利影响,未来在沿海地区新建和布局各类重大经济项目及基础设施建设时,应充分考虑海平面上升因素。提高以海堤为主的各类海岸防护工程的标准,加强海堤改造及护坡工程,提高海堤抗御风暴潮冲刷和淘蚀的能力。此外,沿海新建项目的设计必须考虑未来较长时段海平面上升的影响,提高起围高程、地基标高和工程设计标准,以免造成不应有的损失和投资浪费。

参考文献：

[1] Gomite G l o b a l c o a s t a l h a z a r d s f r o m f u t u r e s e a l e v e l r i s e[J]. P a l a e o g e o g r a p h y, P a l a e o c l i n a t o l o g y, P a l a e o e c o l o g y, 1991, **89** (4): 379~ 398.

[2] M i l l i n a n J D, B r o a d u s J M, G a b l e F. E n v i r o n m e n t a l a n d e c o n o m i c i m p l i c a t i o n o f r i s i n g s e a l e v e l a n d s u b s i d i n g d e l t a s : t h e N i l e a n d B e n g a l e x a m p l e s[J]. A m b i o, 1989, **18** (6): 340 - 345

[3] 杨华庭. 中国沿海海平面上升与海岸灾害 [J]. 第四纪研究, 1999, **19** (5): 456~ 465.

[4] 朱季文, 季子修, 蒋自巽. 海平面上升对长江三角洲及邻近地区的影响 [J]. 地理科学, 1994, **14** (2): 109~ 117.

[5] 季子修. 中国海岸侵蚀特点及侵蚀加剧原因分析 [J]. 自然灾害学报, 1996, **5** (2): 65~ 75

[6] 季子修, 蒋自巽, 朱季文, 等. 海平面上升对长江三角洲和苏北滨海平原海岸侵蚀的可能影响 [J]. 地理学报, 1993, **48** (6): 516~ 525.

[7] 杨桂山, 施雅风. 海平面上升对中国沿海重要工程设施与城市发展的可能影响 [J]. 地理学报, 1995, **50** (4): 302~ 309

[8] 杨桂山. 三峡与南水北调工程建设及海平面上升对上海城市供水水质的可能影响 [J]. 地理科学, 2001, **21** (2): 123~ 129

[9] 黄镇国, 张伟强, 陈奇礼, 等. 海平面上升对广东沿海工程设计参数的影响 [J]. 地理科学, 2003, **23** (1): 39~ 41

[10] 欧素英, 陈子燊. 小波变换在相对海平面变化研究中的应用 [J]. 地理科学, 2004, **24** (3): 358~ 364

[11] 杨清书, 罗宪林. 珠江口伶仃洋海平面变化趋势研究 [J]. 地理科学, 1999, **19** (2): 125~ 127

[12] 杨世伦, 王兴放. 海平面上升对长江口三岛影响的预测研究 [J]. 地理科学, 1998, **18** (6): 518~ 523.

[13] 杨桂山, 施雅风, 季子修, 等. 江苏沿海地区的相对海平面上升及其灾害性影响研究 [J]. 自然灾害学报, 1997, **6** (1): 88~ 96.

[14] 杨桂山, 施雅风, 张琛, 等. 未来海岸环境变化的易损范围及评估 [J]. 地理学报, 2000, **55** (4): 385~ 394.

[15] 许朋柱. 海平面上升对里下河地区洪涝灾害的影响 [J]. 地理科学, 1994, **14** (4): 315~ 323.

[16] 陈晓玲, 王腊春, 朱大奎. 苏北低地系统及其对海平面上升的复杂响应 [J]. 地理学报, 1996, **51** (4): 340~ 349.

[17] 都金康, 史运良. 未来海平面上升对江苏沿海水利工程的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1993, **24** (3): 279~ 285.

[18] 陈晓玲, 朱大奎. 苏北低地涝灾研究 [J]. 自然资源学报, 1996, **11** (4): 355~ 361.

[19] 李永平, 秦曾灏, 端义宏. 上海地区海平面上升趋势的预测和研究 [J]. 地理学报, 1998, **53** (5): 393~ 403

[20] 黄镇国, 张伟强, 陈特固. 香港 澳门近 72 年海平面变化曲线 [J]. 地理科学, 1999, **19** (3): 282~ 285

[21] 吴中鼎, 李占桥, 赵明才. 中国近海近 50 年海平面变化速度及预测 [J]. 海洋测绘, 2003, **23** (2): 17~ 19.

[22] 施雅风, 赵希涛. 中国气候与海平面变化及其趋势和影响:

- 中国海面变化 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1995
362~367
- 近沿海潮滩和湿地的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(6):
582~590.
- [23] 季子修, 蒋自巽, 朱季文, 等. 海平面上升对长江三角洲附

Disaster Effects of Sea Level Rise —A Case of Jiangsu Coastal Low land

LI Jia-Lin^{1,2}, WANG Yan-Hong², ZHANG Ren-Shun³, GE Yun-Jian², QI De-Li¹, ZHANG Dian-Fa²

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;
2 Institute of Human Inhabiting Environment, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211; 3 Institute of
Ocean and Coastal Wetland, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097)

Abstract With the global warming and increasing anthropic impacts on coastal zone, sea level rise seems inevitable. As a result, sustainable development of society and economy of coastland will be directly influenced by the disaster effects of sea level rise. In the past century, global sea level rise rate has been marked as 1 to 2mm per year in average. More and more attentions begin to be paid to global sea level rise and effects to coastal regions. Disaster effects of sea level rise are series of events (such as storm tide, coastal erosion, saltmarsh loss, ruin of coastal protection engineering and so on) that could cause disasters to coastal regions. Jiangsu coast is known as its long coastline, wide coastal plain and inter-tidal mudflat. A deep and loose sediment layer deposited recently along the coast make the land subsidence be obvious. Added up with the Eustatic Sea Level Rise (ESLR), the relative sea level rise rate of the region is far higher than that of the globe in average. What's more, most of the coastal plain of Jiangsu is only slightly higher than the regional mean high water. Faced to remarkable relative sea level rise, the region will inevitably suffer from more serious disaster effects. Methods of regional land subsidence adding up with global sea level rise in average (Eustatic sea level) and tide data analysis are employed. Relative sea level rise along Jiangsu coast in the coming 30, 50 and 100 years are assessed in the paper. On the base of these, disaster of storm tide, erosion of coast, loss of coastal wetland, damnification of tide beds, boosting of flood disaster and ruin of coastal protection engineering along Jiangsu coast are quantitatively analyzed. And prewarnings are made for different lowlands along Jiangsu coast, and concluded that the most severe victim is the coastal plain of mid-Jiangsu, followed by the abandoned Huanghe River Delta Plain and the Changjiang River Delta Plain, the Haizhouwan Coast in the north of Jiangsu Province will be slightly impacted correspondingly. Some countermeasures against these disaster effects are also analyzed in the paper.

Key words sea level rise, disaster effects, Jiangsu coastal lowlands, disaster prewarning