

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

---

---

УДК 470.311

### ОПЫТ ГЕОСИТУАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ СИСТЕМ

*Е. В. Краснов*<sup>\*</sup>  
*С. И. Зотов*<sup>\*</sup>  
*В. П. Дедков*<sup>\*</sup>  
*П. П. Чернышков*<sup>\*</sup>  
*Л. А. Жиндарев*<sup>\*\*</sup>



---

<sup>\*</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта  
236041, Россия, Калининград,  
ул. А. Невского, 14.

<sup>\*\*</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
119991, Россия, Москва,  
Ленинские горы, 1.

Поступила в редакцию 12.09.2016 г.

doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-9

© Краснов Е.В., Зотов С.И., Дедков В.П.,  
Чернышков П.П., Жиндарев Л.А., 2016

*В настоящей статье обобщен многолетний опыт геоситуационного моделирования прибрежно-морских систем Балтийского региона и сопредельных территорий исследователями калининградских вузов и академических институтов. Ее цель — охарактеризовать разнообразие подходов и типов моделей региональных геоситуаций и выявить наиболее перспективные для целей управления в прибрежно-морских регионах.*

*Некоторые из представленных в обзоре моделей носят качественный характер, часть — из разряда эмпирико-статистических, но большинство относится к образно-знаковым картографическим построениям.*

*Практическое значение региональных моделей заключается в их большей конкретизации (по сравнению с глобальными) и возможности использования для поддержки управленческих решений в критических и кризисных ситуациях для минимизации негативных последствий природных и техногенных катаклизмов (штормов, наводнений, землетрясений и др.). Для подобных ситуаций со значительной неопределенностью исходов разрабатываются матричные классификации, относимые к особому классу моделей. В океанологических исследованиях наряду с численными методами совершенствуются эмпирико-статистические модели прогнозного характера, связанные с рыболовством, минимизацией рисков штормовых наводнений и др. Большое внимание уделено моделированию климатических изменений и их геоэкологических последствий, атласному картографированию и ландшафтному планированию.*

*В результате геоситуационного анализа получены новые представления о солнечно-земных связях морских и на-*



*земных экосистем, направленности глобальных и региональных процессов, связанных с изменениями климата, океанизацией, уязвимостью природных систем под прессом возрастающего антропогенного воздействия, повышением риска сельскохозяйственному производству и другим видам регионального землепользования.*

**Ключевые слова:** геоситуационное моделирование, прибрежно-морские системы, калининградский опыт, типы моделей, практическое значение, перспективы развития

## Введение

Моделирование динамики природных и общественных катаклизмов, вероятных сценариев глобального и регионального развития в условиях обостряющихся геоэкологических, геополитических и социально-экономических проблем в конце 60-х гг. XX в. побудило ведущих ученых мира поддержать инициативу итальянского бизнесмена и мецената Аурелио Печчеи, создав известный многим «Римский клуб». С той поры десятки моделей прогноза обозримого будущего человечества оказались малоутешительными, прежде всего из-за недооценки экологических, демографических и социальных проблем.

Моделирование геоэкологических ситуаций (различной степени остроты) в прибрежно-морских системах до недавнего времени связывали со штормами и наводнениями, однако в связи с развитием морского транспорта, бурением скважин и добычей нефти на шельфе, развитием рыбного промысла, туризма и других видов антропогенного воздействия на геосистемы на современном этапе модели и моделирование охватывают все более широкий диапазон региональных экологических проблем [5; 10; 18 и др.]. Авторы представленных в обзоре публикаций степень их актуальности определяют по-разному, исходя из собственных целевых установок, но всех их объединяет системный подход к анализу геоситуации с учетом природных, социальных, технических и технологических факторов. На фоне неудовлетворенности результатами глобального моделирования целесообразно выявить наиболее перспективные региональные исследования в одном из наиболее развивающихся направлений — моделировании региональных геоситуаций. Они, по мнению ряда исследователей (включая авторов данного обзора), играют все более важную роль для оптимизации природопользования, предупреждения опасных геоситуаций, демографических, эпидемических и многих других событий природного и техногенного характера [13], и это прежде всего относится к приморским регионам, особо уязвимым в геоэкологическом отношении.

Модели мировой динамики в России [19] все теснее увязываются с региональными оценками, что приводит к уточнению и конкретизации прогнозируемых сценариев развития, к примеру в рыболовстве, сельском хозяйстве, энергетике и других отраслях производства. Наиболее

сложный вид — многофакторные модели, в которых учитываются взаимосвязи внешних (по отношению к системе) сил. Подобные геоситуации постоянно возникают в системах типа «суша — океан», «океан — суша», «суша — океан — атмосфера», но они еще более усложняются при учете солнечно-земных связей, антропогенного воздействия и др.

Попытки построения сугубо численных (физико-математических) моделей региональных геоситуаций также оказались не очень впечатляющими, поэтому наряду с ними совершенствуются эмпирико-статистические методы моделирования [5; 11; 18], межсистемные и междисциплинарные подходы к анализу критических геоситуаций (типов штормов, наводнений, засух, землетрясений и др.).

Обзор посвящен результатам геоситуационного моделирования в прибрежно-морских системах Балтийского региона и других акваториях Мирового океана, которые были получены за последние 25—30 лет географами, геоэкологами и океанологами калининградских академических институтов и вузов — участников морских и сухопутных экспедиций. Некоторые из представленных моделей носят вербальный (качественный) характер [4; 5], другие — численный [11; 14], но более всего разрабатываются модели картографических геоситуаций [3; 7; 8], возникающих в локальных и мезомасштабных пространственно-временных континуумах. Среди них выделяются модели конфликтных, критических и катастрофических геоситуаций с приемлемым и неприемлемым уровнем риска хозяйственной и другой деятельности в устьях рек, лагунах и на открытых морских побережьях. Для подобных ситуаций со значительной неопределенностью геоэкологических последствий разработаны матричные классификации, которые также относятся к классу моделей.

Картографическая визуализация и математические расчеты часто осуществляются порознь: на картах не фиксируются изменения во времени, а в математических моделях отсутствует пространственная привязка. Между тем сопряжение картографических и физико-математических моделей позволяет более всесторонне и глубоко исследовать динамику геоситуаций [9]. Многовариантность их оценок определяет последовательность (алгоритмы) операций в процессе составления тематических карт и математической обработки данных [7].

Обзор начинается с региональных моделей, учитывающих роль солнечно-земных связей в изменениях климатических геоситуаций, возникновении штормовых наводнений, течений и разрушений морских берегов. Особое внимание калининградских исследователей привлекли проблемы моделирования климатических изменений и их геоэкологических последствий, разрушения морских берегов, подтопления песчаных дюн Куршской косы [20; 22; 23]. В серии геолого-геофизических и геолого-геохимических моделей раскрываются связи поверхностных проявлений и эндогенных процессов — газового, газогидротермального вулканизма и сейсмической активности калининградских недр [8].



Новизной и практичностью отличаются эмпирико-статистические прогнозные модели рыбопромысловых ситуаций в зоне Перуанского апвеллинга и оценки перспектив добычи криля в приантарктических водах [2; 21]. Многокритериальный подход к оценочным моделям уязвимости природных ландшафтов [6; 7] порой вызывает острые дискуссии, но, как показал калининградский опыт, у этого подхода все больше сторонников и перспектив.

Атласное картографирование и моделирование — еще одно успешно развивающееся направление геоситуационного анализа. От отдельных разрозненных карт исследователи переходят к комплексному анализу спектров геоситуаций различной природы, взаимодействующих между собой, порой конфликтующих, требующих принятия управленческих решений. В этом отношении наиболее перспективным представляется ландшафтное планирование [3; 13].

### Моделирование климата в условиях изменений солнечной активности

В связи с отсутствием линейной связи между температурой приземной атмосферы и геоситуацией в приполярных регионах Земли (таянием ледников, увеличением их площади) прогнозируемые сценарии изменений климата и сопряженных с ними природных процессов весьма приблизительны и сильно расходятся между собой. Известно, однако, что чем выше солнечная активность, тем теплее климат, это подтверждено за сотни лет фактических наблюдений. Уровень солнечной активности в четные столетия выше, чем в нечетные, а в ряду экстремально высокой активности Солнца выявлены периоды различной продолжительности.

Колебания средней температуры воздуха на Земле коррелируют не только с числами Вольфа, но и с колебаниями средней продолжительности 11-летних циклов солнечной активности. Вековые циклы изменений климата, в свою очередь, увязываются с соответствующими колебаниями светимости Солнца и его пульсацией.

Анализ многолетних рядов данных по среднегодовой температуре воздуха в Калининграде не выявил сколько-нибудь значительного увеличения этого показателя. Наибольшей амплитудой отличаются 1,5—2-летние и 9—11-летние циклы, определенно указывающие на причинные связи солнечной активности и земного климата [6].

В связи с исключительно высокой солнечной активностью в XX в. (наивысшей за последние 400 лет) на побережье Балтийского моря резко участились штормовые наводнения, а также сильные засухи в Европе, повторяющиеся через 35—37 лет.

В моделях штормовых наводнений в устье р. Преголи (Калининград) 16—18-летняя цикличность вполне согласуется с эмпирическими данными и позволяет прийти к выводу о возможном повторении экс-

тремальных по силе и уровню наводнений в 2016—2018 гг. (табл.). Период повторения сильных наводнений на р. Рейн (по данным с 674 по 1995 г.) составляет 110—112 лет, что вполне соответствует вековому циклу солнечной активности [7; 25].

**Оценки Р (относительной частоты)  
и Δр (среднеквадратического отклонения) штормовых наводнений  
в устьевой области р. Преголи**

Период	Уровень, см (БС)					
	95		155		180	
	Р	± Δр	Р	± Δр	Р	± Δр
1950—1969	0,4	0,11	0,05	0,05	—	—
1970—1989	0,7	0,1	0,1	0,07	0,05	0,05
1990—2009	0,6	0,11	0,2	0,09	0,05	0,05
1950—2009	0,6	0,06	0,1	0,04	0,03	0,02

Источник: [15].

Моделирование связей в системе «Солнечная активность — климат — природный комплекс» позволило разработать долговременный сценарий изменений климата Юго-Восточной Прибалтики [6; 7]. На основе имитационного моделирования выявлены возможные геоэкологические последствия: средняя температура приземного воздуха к 2050 г. может возрасти на 1—5 °С, но с учетом того, что за период с 1848 по 1989 г. средняя температура оставалась на одном уровне, ее рост к середине XX в. достигнет лишь 2 °С. Прогнозируемое увеличение количества атмосферных осадков составляет примерно 100 мм/год [23; 24].

Численная реализация моделей выявила квазипериодические вариации всех составляющих климатической системы и их подстройку к условиям Калининградской области. Температурные изменения происходят в противофазе с осадками (максимуму температур отвечает минимум осадков). К увлажненности природный комплекс оказался более чувствительным, чем к температуре. Линейная аппроксимация тренда изменений климата выявила несколько иную картину: с середины 70-х гг. XX в. средняя температура воздуха в Российской Федерации возросла на 0,43 °С/10 лет, что более чем в 2,5 раза выше глобального уровня. Положительный тренд сумм осадков за тот же период составил 0,8 мм/мес./10 лет. Однако площадь снежного покрова ежегодно сокращается. Обнаружен рост экстремальных климатических явлений (зимних и летних): штормов, наводнений, засух, лесных пожаров [20; 25; 26].

Эмпирико-статистическая модель отчетливо фиксирует и квазипериодические флуктуации измеряемых параметров, выявляет характерные периоды подъемов и спадов продуктивности лесов Калининградской области (рис. 1).

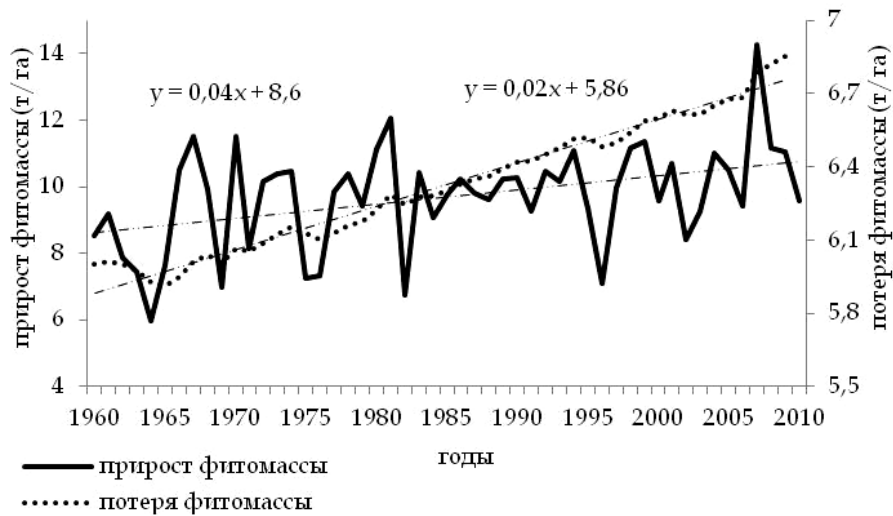


Рис. 1. Межгодовой ход и линейные тренды прироста и потери фитомассы в связи с листовым и древесным опадом [7]

Положительный тренд насыщения кислородом приземной атмосферы Калининградского региона — важный результат моделирования для планирования рекреационных нагрузок (рис. 2).

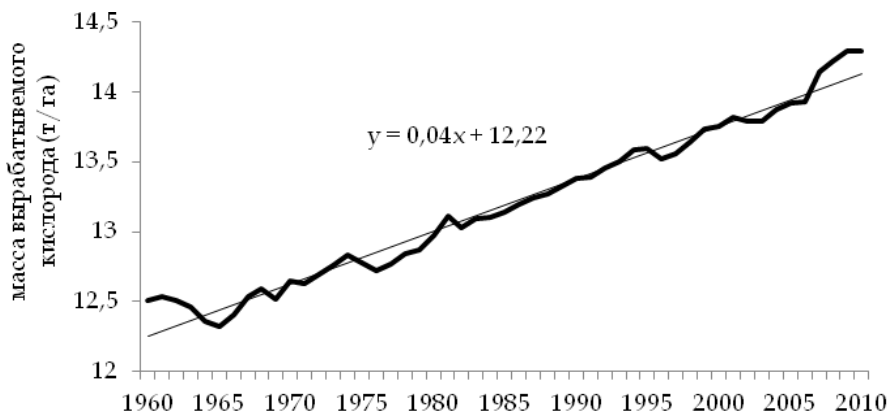


Рис. 2. Межгодовой ход количества кислорода, выработанного смешанным лесом

Для сельского хозяйства региона негативные последствия могут быть вызваны сдвигом (асинхронностью) фенофаз и времени вылета опыляющих пчел. Увеличение количества интенсивных дождей приводит к значительным потерям урожая зерновых культур. В условиях массового размножения клещей возрастает риск заболеваемости населения [23; 24].

## Модели круговорота воды и океанизации

Классическая модель М.И. Львовича описывает процесс испарения океанической воды с учетом речного стока и атмосферных осадков по формуле

$$E = P + R,$$

где  $E$  — испарение;  $P$  — атмосферные осадки;  $R$  — речной сток.

В.В. Орлёнок [16; 17] в результате многолетних исследований динамики океана обосновал принципиально иную модель, в которой общее уравнение баланса вод представлено в следующем виде:

$$P + R + T - E - F = N, N > 0,$$

где  $T$  — приток в океан внутрипланетной воды;  $F$  — безвозвратные потери воды в космическом пространстве в результате фотолиза.

При этом нулевой баланс в гидросфере отсутствует, приход, по Орлёнку, выше расхода. Таким образом, опровергается постулат В.И. Вернадского о постоянстве объема воды на нашей планете и предлагается модель глобальной океанизации (подобие «всемирного потоп»). Далеко не все океанологи согласны с этой моделью, но многие факты указывают на ее правомочность, и, прежде всего, это преобладание участков опусканий дна в океанах над поднятиями, продолжающееся затопление Венеции, необходимость строительства защитных дамб в Нидерландах, Германии, на Балтийских побережьях и др.

Несмотря на глобальный характер рассмотренных моделей, их апробация возможна только на региональном уровне вследствие различий планетарных и гидрометеорологических факторов. Так, уровень Балтийского моря испытывает значительные вариации по его периметру в одно и то же время, изменяются и средние значения уровня во временном ряду: в 1823 г. он упал на 250 мм, а в 1920 и 1952 гг. — поднимался до 150 мм. И все же тенденция подъема уровня Балтийского моря со скоростью 1,5 мм/год сохраняется.

Скорость опусканий дна в Мировом океане характеризуется экспоненциальной зависимостью. Из нее следует, что эндогенная вода за последние 100 млн лет поступает в океаны и моря со скоростью 0,6 мм/год. Общее поступление воды из земных недр автор новой модели оценивает в  $37 \text{ км}^3/\text{год}$ , а потери на фотолиз лишь в  $7,2 \text{ км}^3/\text{год}$  [16; 17].

До 4—5% воды содержится в вулканических лавах и пепле, ежегодно извергаемых из недр. Кроме того, при расчетах следует учитывать и космическую составляющую (связная вода в астероидах и метеоритах).

Во впадинах Балтийского моря широко распространено выделение газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  и др.) не только из донных илов, но и с больших глубин, вплоть до кристаллического фундамента, откуда они поступают по тектоническим разломам. Известно и совместное выделение глю-

бинных газов с водой (газогидротермы). Восходящие потоки углеводородных газов сопровождаются акустическими аномалиями, в некоторых случаях в тех же местах обнаруживают сульфиды металлов [8].

Постоянное выделение из земных недр ювенильных вод и различных газов усугубляется гигантскими разработками нефти на морских шельфах, и это вполне может спровоцировать коллизии в земной коре, разрешающиеся землетрясениями. Подтверждение этой идеи можно усмотреть в учащении землетрясений на Балтике и, в частности, в районе Калининграда (октябрь 1303 г., август 1803 г., 1904 г., сентябрь 2004 г.). Двадцать первого сентября 2004 г. произошла серия из трех землетрясений, необычно сильных для Восточно-Европейской платформы, с магнитудой главного толчка 5,2 по шкале Рихтера. Они были ощутимы во всем Балтийском регионе, а в Калининградской области привели к серьезным разрушениям жилых построек и линий железной дороги [8].

### Литодинамическая модель береговой зоны моря

Литодинамические исследования [4; 5] на юго-восточном побережье Балтийского моря и сравнение полученных результатов с материалами по Каспийскому и другим внутренним морям выявили принципиальное сходство берегоформирующих процессов и литодинамических ситуаций на экспериментальных участках. Это позволило разработать вербальную «управляющую модель» формирования песчаных берегов и подводного берегового склона.

В соответствии с основной эмпирической закономерностью о контроле распространения рыхлых отложений на пляже и подводном склоне придонными течениями и спецификой волновой энергии мелкозернистые пески в вершинах бухт, омываемых вдольбереговыми течениями на юго-востоке Балтики и на западном побережье Каспийского моря, полностью перекрывают валунно-глыбовый бенч. Ширина пляжей в этих условиях достигает 35—40 м. Однако в зонах дивергенции течений, у мысов поле мелкозернистых песков вытянуто вдоль берега узкой полосой, зажатой полями валунно-галечных отложений со стороны моря и суши. Пляжи отсутствуют, либо представлены полосой валунов и галечника шириной 3—5 м.

В вершинах бухт преобладает аккумуляция мелкозернистых песков. Ближе к урезу воды в полосе песка наиболее высоко содержание тяжелых минералов, однако в сторону моря, как правило, оно быстро уменьшается за исключением ложбин, трассирующих пути движения водных масс с относительно высокими скоростями — от уреза вглубь акватории.

Распределение донных грунтов, их гранулометрические и минералогические характеристики указывают на значительную протяженность разрывных течений, перемещающих донные осадки на значительную глубину (до 10—15 м и более). У крупных мысов и портовых сооружений вдольбереговые течения разрываются, образуя самостоятельные ли-



тодинамические системы, вещественно-энергетический обмен между которыми затруднен либо вообще прекращен. В условиях морфологически расчлененного берега разрывные течения переносят пески из приурезовой зоны бухт на большие глубины, в результате по поперечному профилю происходит инверсионное распределение донных отложений.

Вертикальное распределение взвеси ( $R$ ) над сплошным полем донных рыхлых отложений двуслойное со значительным градиентом в придонном слое и постепенным уменьшением ее содержания к поверхности акватории. Песчаные поля, выходящие из центральных частей бухт на большие глубины, трассируют направленность разрывных течений, выносящих взвеси в открытое море. Опыты с люминесцентными трассерами подтвердили реальность описанной литодинамической модели.

Анализ перемещения и концентрирования трассеров выявил существование в бухтах зон конвергенции потоков волновой энергии, благодаря которым здесь формируются разрывные течения.

Описанная модель характеризует ведущий процесс выноса песков разрывными течениями из приурезовой зоны бухт на большие глубины, который развивается даже в условиях слабых и умеренных волнений.

### Биогеохимическое картографирование

В ряде работ представлены результаты многолетних исследований биоконцентрирования тяжелых и переходных металлов покровообразующими видами мхов [9; 23]. По величине индекса их концентрирования в регионах Европы разработана типология стран Балтийского региона. К самому неблагоприятному типу отнесены Германия и Польша, ко второму типу — Литва, Латвия, Финляндия и Норвегия, а к третьему (самому благополучному) — Швеция и Эстония [9].

### Системное атласное картографирование и моделирование

Географические атласы в системе картографирования регионов и стран играют особую роль, позволяя анализировать состояние и перспективы развития целостных территориальных образований с самых различных сторон — природных, исторических, социально-экономических и, разумеется, геоэкологических. Региональные атласы выполняют функцию базы данных для целей ландшафтного планирования развивающихся территорий и других практически необходимых управленческих решений [1].

Географический атлас Калининградской области (2002) — первое отечественное издание такого типа. В его геоэкологический блок вошла серия карт, построенных на ландшафтной основе, отражающих состояние природно-территориальных комплексов и типы использования земель, обоснованы меры по оптимизации природопользования, обеспечению геоэкологической безопасности и устойчивому региональному развитию.



В процессе атласного картографирования моделируются геоситуации прошлого (ретроспективные обобщения) и их вероятные изменения в обозримом будущем (перспективные проекции), благодаря которым выявляются пространственно-временные закономерности. Так, в специальном издании «Атлас мира» (2011), посвященном Калининградской области, геоситуационный анализ выполнен в следующей последовательности:

- 1) состояние воздушной среды;
- 2) антропогенная нагрузка;
- 3) состояние здоровья населения.

Логическим завершением анализа региональных геоситуаций выглядит представленная в атласе карта особо охраняемых природных территорий Калининградской области. К сожалению, за последние пять лет она значительно устарела: в регионе появился целый ряд новых заказников, а некоторые, ранее существовавшие, были упразднены.

С появлением массива гидрометеорологических данных за период 1951—2000 гг. в бассейне Балтийского моря стало возможным не только моделировать динамику климатических полей с месячной дискретностью (по температуре воды и воздуха, солёности, скорости ветра, атмосферному давлению и др.), но и выявлять пространственно-временную изменчивость этих параметров с учетом их трендов и периодических составляющих. По материалам топографических карт, изданных за последние 70 лет, составлен и опубликован новейший «Атлас послевоенных изменений на территории современной Калининградской области» (2016), в котором отражены не только геополитические и социально-экономические преобразования в регионе, но и изменения геоэкологической обстановки: лесистости, морского побережья, речной сети [1].

Сравнение первых топографических изображений и современной цифровой топографической карты положено в основу карты смещения береговой линии. В ходе анализа изменений положения береговой линии Балтийского моря, Куршского и Калининградского (Вислинского) заливов получены количественные характеристики смещения морской и заливной береговой линии на протяжении более 450 км. В описании использован осторожный термин «смещение» без выводов о сложном характере береговых процессов (абразия, аккумуляция и др.) на всем побережье региона, без анализа каждого фрагмента выявлены метрические расхождения положения береговой линии.

На Самбийском (Калининградском) полуострове наибольший прирост суши (до 200—400 м) отмечен на его западном участке (от пос. Парусное до пос. Синявино), у молов гавани г. Пионерска, а также севернее молов порта г. Балтийска, что объясняется техногенным преобразованием побережья. Существенным уменьшением площади прибрежной суши (до 100 м) характеризуются два участка — западнее мыса Таран (пос. Донское) и отрезок берега между устьями р. Забава и Алейка (пос. Куликово). На этих участках берег обрывистый и довольно высокий, что указывает на естественный характер изменения береговой линии.

## Ландшафтное планирование

Вербальное и картографическое моделирование геоситуаций в землепользовании особенно актуально в современных условиях кадастровых оценок и учета земель различного функционального назначения не только в городах, но и в регионе в целом. В условиях Калининградской области картографическое обоснование целей землепользования с учетом состояния земель, включая размещение особо охраняемых природных территорий, несомненно будет способствовать реализации концепции устойчивого развития региона [3].

### Заключение

Геоситуационный подход применим к моделированию самых разнообразных по масштабу и продолжительности изменений в природных системах регионального уровня. В настоящем обзоре были кратко охарактеризованы результаты моделирования наиболее масштабных глобальных и региональных геоситуаций, возникающих в прибрежно-морских системах под воздействием солнечной радиации и изменений климата, геотектонических процессов и океанизации Земли, вдольбереговых и вдольсклоновых течений, уносящих в глубины моря огромные массы осадочного материала. Картографическое и эмпирико-статистическое отображение геоситуаций в системах комплексных атласных моделей и ландшафтного планирования представляются наиболее перспективным для поддержки управленческих решений в целях оптимизации землепользования, минимизации ущерба штормовых наводнений, разрушения морских берегов, аномальных изменений климата, рисков сельскохозяйственного производства, рыболовства и других видов хозяйственной деятельности.

В обзор не вошли региональные геоситуации, обусловленные евтрофикацией прибрежно-морских вод, загрязнением воздушной и водной среды тяжелыми металлами, углеводородами нефтяного рода, природно-очаговыми заболеваниями животных и растений. Этому авторам намерены посвятить самостоятельную статью.

Наиболее известные балансовые модели описывают динамику систем как совокупность процессов переноса вещества и энергии с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений. И хотя они имеют значение для исследования круговоротов химических элементов и их соединений в геохимии системы «почва — растение», трудности в их реализации весьма значительны. Такие модели недостаточно полно учитывают экспериментальные данные. Отсутствуют алгоритмы создания математических моделей на основе эмпирических исследований с экстраполяцией прошлых геоситуаций с требуемой точностью. Все это указывает на настоятельную необходимость дальнейшего совершенствования методов геоситуационного моделирования и принципов, заложенных в их основу.

**Список литературы**

1. *Атлас послевоенных изменений на территории современной Калининградской области* / гл. ред. Г.М. Федоров. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. 36 с.
2. *Бородин Е.В., Чуринов Д.А., Чернышков П.П.* Влияние динамики вод на биомассу и распределение биологических ресурсов пелагиали южных частей Атлантического и Тихого океанов // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2014. №7. С. 142—154.
3. *Дедков В.П., Федоров Г.М.* Пространственное, территориальное и ландшафтное планирование в Калининградской области. Калининград : Изд-во РГУ им. И. Канта, 2006. 184 с.
4. *Жиндарев Л.А., Бадюкова Е.Н., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Развитие барьерно-лагунных систем Юго-Восточной Балтики // *Океанология*. 2008. Т. 48, №4. С. 641—647.
5. *Жиндарев Л.А., Рябкова О.И., Сивков В.В.* Геология и геоморфология морских берегов // *Нефть и окружающая среда Калининградской области*. Т. 2 : Море. Калининград : Терра Балтика, 2012. С. 19—36.
6. *Зотов С.И., Воробьев Р.С.* Геоэкологический анализ воздействия метеорологических факторов на леса Калининградской области // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2015. Вып. 1 : Естественные науки. С. 43—49.
7. *Зотов С.И.* Моделирование связей в системе «Солнечная активность — климат — природные комплексы» // *География на рубеже веков : сб. науч. тр.* Калининград : Изд-во КГУ, 2001. С. 199—206.
8. *Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года*. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 170 с.
9. *Королева Ю.В., Пухлова И.А.* Новые данные о биоконцентрировании тяжелых металлов на территории Балтийского региона // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2012. №1. С. 99—106.
10. *Краснов Е.В., Любимова О.Е.* Геосистемный подход к оценке риска штормовых наводнений в устье реки Преголи, Калининградская область // *Региональная экология*. 2013. №1—2 (34). С. 15—22.
11. *Кшевещкий С.П., Тиранвенкатасами К.* Численное моделирование опрокидывания волны цунами на берег с большим наклоном дна // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2013. №1. С. 91—97.
12. *Малинин В.Н., Чернышков П.П., Гордеева С.М.* О проблеме долгосрочного прогноза ставриды в юго-восточной части Тихого океана // *Вопросы промысловой океанологии*. 2007. Вып. 4, №1. С. 52—62.
13. *Межрегиональное атмосферное загрязнение территорий: Калининградская область*. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1997. 108 с.
14. *Михневич Г.С., Гриценко В.А.* Прогноз изменений качества подземных вод Калининградской области // *Естественные и технические науки*. 2008. №4 (36). С. 246—250.
15. *Москалец В.Ф., Любимова О.Е.* Прогностические характеристики штормовых наводнений в устье реки Преголи (Калининградская область // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2013. №1. С. 98—101.
16. *Орленок В.В.* Глобальный вулканизм и океанизация Земли. Калининград : Изд-во РГУ, 2008. 226 с.

17. Орленок В. В. Роль эндогенного фактора в изменении уровня океана за последние 140 лет // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2009. № 1. С. 8—17.
18. Рубцов В. А., Трофимов А. М., Солодухо Н. М., Шабалина С. А. Геоэситуационная концепция — одно из новых направлений в географии // Известия РАН. Серия геогр. 2008. № 6. С. 99—100.
19. Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики. М. : ИСПИ РАН, 2013. 360 с.
20. Тупикин С. Н. Структурный анализ штормовых ветров в Юго-Восточной Балтике и Калининградской области // Комплексное изучение бассейна Атлантического океана : сб. науч. тр. Калининград : Изд-во КГУ, 2003. С. 59—63.
21. Чернышков П. П., Амиров Ф. О., Чуринов Д. А. и др. Исследования биологических ресурсов Мирового океана в условиях климатических изменений на основе современных информационных технологий // География XXI века : сб. науч. тр. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. С. 62—73.
22. Шидловская Ю. А. Эволюция функционального зонирования национального парка «Куршская коса» // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. № 1. С. 72—78.
23. Barinova G., Koroleva Yu., Krasnov E. Indicative Modeling and spatial evaluation of air pollution risk // Risk models and applications / eds H. Kremers, A. Susini. Germany e. V., 2012. P. 23—34.
24. Barinova G., Krasnov E., Gaeva D. Changes of South Baltic Region Climate: Agroecological Challenges and Responses // Handbook of Climate Change Adaptation / ed. by W. L. Filho. Berlin ; Heidelberg, 2015. P. 1635—1655.
25. Chistyakov V. Solar activity and climate in XXI century // Reports of the Intern. Workshop on the global change studies in the Far East. Vladivostok. Sept. 7—9, 1999. Vladivostok : Dalnauka, 2001. Vol. 1. P. 9—23.
26. Krasnov E., Sergeeva L., Kostina E. The Baltic Sea-Level events in the system of global change // Third Study Conference on BALTEX. Proceedings: Intern. BALTEX Secretariat Publ. 2001. № 20. P. 119—120.

### Об авторах

*Евгений Васильевич Краснов*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры географии, природопользования и пространственного развития, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: ecogeography@rambler.ru

*Сергей Игоревич Зотов*, доктор географических наук, профессор кафедры географии, природопользования и пространственного развития, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: zotov.prof@gmail.com

*Виктор Павлович Дедков*, доктор биологических наук, профессор, Институт живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VDedkov@kantiana.ru



*Павел Петрович Чернышков*, доктор географических наук, профессор кафедры географии, природопользования и пространственного развития, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: ptchern@atlant.baltnet.ru

*Леонид Алексеевич Жиндарев*, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия.

E-mail: geomorpho2006@yandex.ru

**Для цитирования:**

*Краснов Е. В., Зотов С. И., Дедков В. П., Чернышков П. П., Жиндарев Л. А.* Опыт геоситуационного моделирования прибрежно-морских систем // Балтийский регион. 2016. Т. 8, №4. С. 129—145. doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-9.



## GEOSITUATIONAL MODELLING OF COASTAL MARINE SYSTEMS

E. Krasnov<sup>\*</sup>, S. Zotov<sup>\*</sup>, V. Dedkov<sup>\*</sup>,  
P. Chernyshkov<sup>\*</sup>, L. Zhindarev<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University,  
14 A. Nevskogo ul., Kaliningrad, 236040, Russia.*

<sup>\*\*</sup> *Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, Moscow, 119991 Russia*

Submitted on September 12, 2016

*The article summarizes years of experience of geosituational modelling of coastal marine systems in the Baltic Sea region and adjacent territories. Kaliningrad universities and academic institutions have done extensive research on the diversity of approaches and models of the regional geosituations as well as on identifying the most promising coastal marine areas. Some of the models presented in the present paper are qualitative, while others are empirical and statistical ones. However, the majority of the models can be referred to as forms of graphic and image mapping. The significance of the regional models lies in their specificity, a more detailed character (compared to the generalist ones) and the possibility of using them to back up managerial decisions in critical and emergency situations in order to minimize the negative effects of natural (storms, floods, earthquakes, etc.) and anthropogenic emergency situations. The authors developed a matrix classification attributable to a particular class of models for the situations leading to uncertain outcomes. The authors suggest using numerical methods combined with the empirical and statistical models for the assessment of the impact of industrial fishing on marine environment, minimizing the consequences of storms, floods and others factors. Special attention is paid to the modelling of climate change and geo-ecological consequences, as well as to atlas mapping and landscape planning. As a result of*



*the geosituational analysis the authors got new insights into the solar-terrestrial links, marine-terrestrial ecosystems, global and regional processes related to climate change, oceanization, the vulnerability of natural systems under the increasing pressure of anthropogenic activities, and continuously increasing risks presented by industrial agriculture and other types of land use.*

*Key words:* geosituational modelling, coastal marine systems, Kaliningrad region, types of models, practical significance, prospects of development.

#### References

1. Fedorov, G.M. (ed.), 2016, *Atlas poslevoennykh izmenenij na territorii sovremennoj Kaliningradskoj oblasti* [Atlas of post-war changes on the territory of the modern Kaliningrad region], Kaliningrad, 36 p.
2. Borodin, E.V., Churin, D.A., Chernyshkov, P.P. 2014, Vliyanie dinamiki vod na biomassu i raspredelenie biologicheskikh resursov pelagiali yuzhnykh chastej Atlanticheskogo i Tihogo okeanov [Influence of dynamics of waters on biomass and distribution of biological resources of a pelagiala of the southern parts of the Atlantic and Quiet oceans], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, no. 7, p. 142—154.
3. Dedkov, V.P., Fedorov, G.M. 2006, *Prostranstvennoe, territorial'noe i landsaftnoe planirovanie v Kaliningradskoj oblasti* [Spatial, territorial and landscape planning in the Kaliningrad region], Kaliningrad, 184 p.
4. Zhindarev, L.A., Badyukova, E.N., Loukianov, S.A., Solovyova, G.D. 2008, Razvitie bar'erno-lagunnykh sistem yugo-vostochnoj Baltiki [Development barrier lagoon systems of southeast Baltic], *Oceanology*, Vol. 48, no. 4, p. 641—647.
5. Zhindarev, L.A., Ryabkova, O.I., Sivkov, V.V. 2012, Geologiya i geomorfologiya morskikh beregov [Geology and geomorphology of sea coast], *Neft' i okruzhayushchaya sreda Kaliningradskoj oblasti* [Oil and environment of the Kaliningrad region], T. 2, More [See], Kaliningrad, Terra Baltika, p. 19—36.
6. Zotov, S.I., Voropayev, R.S. 2015, Geo'ekologicheskij analiz vozdejstviya meteorologicheskikh faktorov na lesa Kaliningradskoj oblasti [Geoecological analysis of impact of meteorological factors on the woods of the Kaliningrad region], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, p. 43—49.
7. Zotov, S.I. 2001, Modelirovanie svyazej v sisteme «Solnechnaya aktivnost' — klimat — prirodnye komplekсы» [Modeling of communications in the "Solar Activity — Climate — Natural Complexes" system], *Geografiya na rubezhe vekov* [Geography at the turn of the century], Kaliningrad, p. 199—206.
8. *Kaliningradskoe zemletryasenie 21 sentyabrya 2004 goda* [Kaliningrad earthquake on September 21, 2004], 2009, St. Petersburg, 170 p.
9. Korolyova, Yu. V., Pukhlov, I.A. 2012, Novye dannye o biokoncentririvanii tyazhelykh metallov na territorii Baltijskogo regiona [New data on bioconcoction of heavy metals in the territory of the Baltic region], *Vestnik Immanuel Kant Maltic Federal University*, no. 1, p. 99—106.
10. Krasnov, E.V., Lyubimova, O.E. 2013, Novye dannye o biokoncentririvanii tyazhelykh metallov na territorii Baltijskogo regiona [Geosystem approach to assessment of risk of storm floods in the mouth of the Pregolya River, the Kaliningrad region], *Regional'naya `ekologiya* [Regional ecology], no. №1—2 (34), p. 15—22.
11. Kshevetsky, S.P., Tiranvenkatasami, K. 2013, Chislennoe modelirovanie oprokidyvaniya volny cunami na bereg s bol'shim naklonom dna [Numerical modeling of capsizing of a wave of a tsunami on the coast with a big inclination of a bottom], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, no. 1, p. 91—97.



12. Malinin, V. N., Chernyshkov, P. P., Gordeeva, S. M. 2007, O probleme dolgosrochnogo prognoza stavridy v yugo-vostochnoj chasti Tihogo okeana [About a problem of the long-term forecast of a jack mackerel in a southeast part of the Pacific Ocean], *Voprosy promyslovoj okeanologii* [Questions of trade oceanology], Vol. 4, no. 1, p. 52—62.
13. *Voprosy promyslovoj okeanologii* [Interregional atmospheric pollution of territories: Kaliningrad region], 1997, St. Petersburg, 108 p.
14. Mikhnevich, G.S., Gritsenko, V.A. 2008, Voprosy promyslovoj okeanologii [Forecast of changes of quality of underground waters of the Kaliningrad region], *Estestvennye i tehniczeskie nauki* [Natural and technical science], no. 4 (36), p. 246—250.
15. Moskalets, V.F., Lyubimova, O.E. 2013, Prognosticheskie harakteristiki shtormovyh navodnenij v ust'e reki Pregoli (Kaliningradskaya oblast') [Predictive characteristics of storm floods in the mouth of the Pregolya River (Kaliningrad region)], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, no. 1, p. 98—101.
16. Orlenok, V.V. 2008, *Global'nyj vulkanizm i okeanizaciya Zemli* [Global volcanism and okeanization of Earth.], Kaliningrad, 226 c.
17. Orlenok, V.V. 2009, Rol' `endogenogo faktora v izmenenii urovnya okeana za poslednie 140 let [Role of an endogenous factor in change of level of the ocean for the last 140 years], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, no. 1, p. 8—17.
18. Rubtsov, V.A., Trofimov, A.M., Solodukho, N.M., Shabalin, S.A. 2008, Geosituacionnaya koncepciya — odno iz novyh napravlenij v geografii [The geosituational concept — one of the new directions in geography], *Izvestiya RAN, Ser. Geography*, no. 6, p. 99—100.
19. Sadovnichiy, V.A., Akayev, A.A., Korotayev, A.V., Malkov, S. Yu. 2013, *Modelirovanie i prognozirovanie mirovoj dinamiki* [Modeling and forecasting of world dynamics], Moscow, 360 p.
20. Tupikin, S.N. 2003, Strukturnyj analiz shtormovyh vetrov v yugo-vostochnoj Baltike i Kaliningradskoj oblasti [The structural analysis of gales in southeast Baltic and the Kaliningrad region]. In: *Kompleksnoe izuchenie bassejna Atlanticheskogo okeana* [Complex studying of the basin of the Atlantic Ocean], Kaliningrad, p. 59—63.
21. Chernyshkov, P.P., Amirov, F.O., Churin, D.A., Sklyarov, M.B., Borodin, E.V. 2012, Issledovaniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana v usloviyah klimaticheskikh izmenenij na osnove sovremennykh informacionnykh tehnologij [Researches of biological resources of the World Ocean in the conditions of climatic changes on the basis of modern information technologies], *Geografiya XXI veka* [Geography of the 21st century], Kaliningrad, p. 62—73.
22. Shidlovskaya, Yu.A. 2015, `Evolyuciya funkcional'nogo zonirovaniya nacional'nogo parka «Kurshskaya kosa» [Evolution of functional zoning of national park Curonian Spit], *Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University*, no. 1, p. 72—78.
23. Barinova, G., Koroleva, Y., Krasnov, E. 2012, Indicative Modeling and spatial evaluation of air pollution risk. In: Kremers, H., Susini, A. (eds.), *Risk models and applications*, p. 23—34.
24. Barinova, G., Krasnov, E., Gaeva, D. 2015, Changes of South Baltic Region Climate: Agroecological Challenges and Responses. In: Filho, W.L. (ed.), *Handbook of Climate Change Adaptation*, Springer- Verlag, Berlin — Heidelberg, p. 1635—1655.





25. Chistyakov, V. 2001, Solar activity and climate in XXI century, *Reports of the Intern. Workshop on the global change studies in the Far East*, Vladivostok. Sept. 7—9, 1999, Vol. 1, p. 9—23.

26. Krasnov, E., Sergeeva, L., Kostina, E. 2001, The Baltic Sea-Level events in the system of global change, *Third Study Conference on BALTEX*, Proceedings, Intern, BALTEX Secretariat Publ, no. 20, p. 119—120.

#### The authors

*Prof. Yevgeny V. Krasnov*, Department of Geography, Environmental Management and Spatial Development, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: [ecogeography@rambler.ru](mailto:ecogeography@rambler.ru)

*Prof. Sergey I. Zotov*, Department of Geography, Environmental Management and Spatial Development, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: [zotov.prof@gmail.com](mailto:zotov.prof@gmail.com)

*Prof. Victor P. Dedkov*, School of Life Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: [VDedkov@kantiana.ru](mailto:VDedkov@kantiana.ru)

*Prof. Pavel P. Chernyshkov*, Department of Geography, Environmental Management and Spatial Development, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: [ptchern@atlant.baltnet.ru](mailto:ptchern@atlant.baltnet.ru)

*Prof. Leonid A. Zhindarev*, Department of Geomorphology and Paleogeography, Lomonosov Moscow State University, Russia.

E-mail: [geomorpho2006@yandex.ru](mailto:geomorpho2006@yandex.ru)

#### To cite this article:

*Krasnov E.V., Zotov S.I., Dedkov V.P., Chernyshkov P.P., Zhindarev L.A.* 2016, Geosituational Modelling of Coastal Marine Systems, *Balt. reg.*, Vol. 8, no. 4, p. 129—145. doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-9.