

Оценка региональных медико-эколого-экономических процессов

Е.В. Молчанова

Институт экономики КарНЦ РАН

Все социо-эколого-экономические процессы стали более динамичными и взаимозависимыми, причем взаимозависимость проявляется в сложно опосредованных, часто неопределяемых и неожиданных формах. Проблема взаимодействия человеческого сообщества и окружающей среды наиболее адекватно может быть рассмотрена с использованием комплексных подходов, на стыке биологии, социально-экономических факторов развития человеческого сообщества, а также экологии во всем многообразии ее современного понимания [11].

Состояние здоровья населения является обобщенным интегральным показателем качества среды обитания и ее влияния на жизнедеятельность человека. Изучение взаимоотношений человека с факторами окружающей природной среды помогает установить оптимальные технические нормативы этих взаимоотношений и оценить функционирование внутренней среды организма, загрязнение и кризис которой порождаются загрязнением и кризисом внешней среды.

Экология человека представляет собой комплексную социо-эколого-экономическую отрасль знаний, где все социальные, экономические и природные условия рассматриваются как одинаково важные составляющие среды жизни человека. В настоящее время изучение воздействия экологических и социально-экономических факторов на уровень заболеваемости приобрели огромную актуальность, особенно в городах с развитой промышленностью. Необходимость технической оценки с помощью методов математического моделирования неблагоприятных антропогенных факторов окружающей среды на состояние живых организмов, в том числе и человека, сегодня не вызывает сомнения. Стратегия развития региона должна основываться на комплексном подходе к решению экономических и медико-экологических задач [1, 2, 6].

Математизация экологии началась еще в начале XX в. работами В. Вольтерра (1931) и А. Лотки (1925). Созданные модели типа «хищник-жертва», с помощью которых были успешно объяснены некоторые неподдающиеся интерпретации наблюдения за динамикой численности популяций, не потеряли своей актуальности и теперь – их

усовершенствование и математическое исследование представляет собой важное направление в теоретической экологии.

Использование методов математического моделирования в экологии подняло ее на новую теоретическую ступень развития. Значительную роль в этом сыграло проникновение в экологические исследования методов системного анализа, на основе которого развивалось такое важное направление, как экологическое имитационное моделирование.

Современные математические модели в природно-антропогенных экосистемах можно разбить на три класса [8]:

1. описательные модели: регрессионные и другие эмпирически установленные количественные зависимости, не претендующие на раскрытие механизма описываемого процесса,
2. качественные модели, которые строятся с целью выяснения динамического механизма изучаемого процесса, способные воспроизвести наблюдаемые динамические эффекты в поведении систем,
3. имитационные модели конкретных экологических и эколого-экономических систем, учитывающие всю имеющуюся информацию об объекте.

Человек – чрезвычайно сложная и совершенная биологическая структура, одной из важнейших качественных характеристик которой является здоровье. Данный критерий комфортного существования зависит от состояния окружающей его природно-антропогенной среды. Следовательно, риск нанесения ущерба здоровью населения – основной компонент экологического риска, а изменение состояния здоровья – наиболее значимый и достоверный индикатор негативной нагрузки факторов риска на окружающую природную среду в целом.

Развитие современных информационных технологий открывает качественно новые возможности для анализа экологической ситуации. Использование методологии оценки риска здоровью в сочетании с медико-статистическими и эпидемиологическими методами является основой для установления причинно-следственных связей в системе среда-здоровье [10]. Среда обитания, окружающая современного человека, включает в себя не только природную среду, но также искусственную среду, созданную человеком и социальную среду. Человек и среда обитания непрерывно находятся во взаимодействии, образуя постоянно функционирующую систему «человек – среда обитания». В настоящее время все усложняющиеся условия жизни и участвовавшие природные катастрофы

соединяются с экономическими, политическими и социальными кризисами, что вызывает новые проблемы в физическом и психическом здоровье людей.

Состояние здоровья населения оказывает непосредственное влияние на будущие поколения, поэтому уже сейчас необходим комплекс экономических, социальных, медицинских и экологических мероприятий, направленных на предотвращение возникшего кризиса. Успех не может быть достигнут усилиями только медицинского сектора. Особенно остро этот вопрос встает в северных регионах, с неблагоприятными природно-климатическими условиями. Целью данного исследования является оценка влияния экологических и социально-экономических факторов на здоровье населения региона (на примере Северо-Западного федерального округа).

Система «среда-здоровье» включает множество взаимосвязанных подсистем, которые можно анализировать с различных точек зрения: экологических, медицинских, технических, экономических, юридических и др. В данном исследовании применяются в основном математические методы оценки влияния социо-эколого-экономических факторов на здоровье населения.

Группировка территорий и формирование комплексных показателей. Для решения многих медико-эколого-экономических задач необходимо распределить различные населенные пункты и административные территории на отдельные группы, выделить лучшие, средние и худшие регионы, определить ранговые места. Необходимость в проведении таких исследований возникает при оценке деятельности служб здравоохранения, при проведении медицинского районирования, при оценке обеспеченности территории различными ресурсами.

В рамках данного исследования рассмотрим один из методов многомерной группировки объектов, а именно метод нормирования показателей. Метод нормирования очень удобен для распределения различных регионов на группы и формирования комплексных факторов. При этом показатели обезличиваются и переводятся в преобразованную форму.

Рассмотрим группировку территорий Северо-Западного федерального округа по показателям обеспеченности ресурсами здравоохранения – врачами, средним медицинским персоналом и койками [9]. Многомерная группировка районов осуществляется поэтапно. Сначала выполняется нормирование показателей. В качестве нормирующих величин принимаются средние показатели обеспеченности ресурсами в данной области. Затем происходит суммирование нормированных величин по каждому району и присвоение им ранговых мест (таблица 1).

Таблица 1

Распределение районов Северо-Западного федерального округа по степени обеспеченности ресурсами здравоохранения (2006 год)

Название	Абсолютные показатели			Нормированные показатели			Сумма нормир. показат.	Ранговое место
	Число бол. коек (на 10 тыс. чел.)	Числен. врачей (на 10 тыс.чел.)	Сред. мед. персон. (на 10 тыс.чел.)	Число бол. коек (на 10 тыс. чел.)	Числен. врачей (на 10 тыс.чел.)	Сред. мед. персон (на 10 т.чел.)		
Северо-Западный федеральный округ	107,1	55,4	111,7	1	1	1	3	*
Республика Карелия	117,6	49,3	126,6	1,10	0,89	1,13	3,12	4
Республика Коми	116,1	46,1	140	1,08	0,83	1,25	3,17	3
Архангельская область	114	53,2	139,8	1,06	0,96	1,25	3,28	2
Ненецкий автономный округ	126,3	39,3	101,8	1,18	0,71	0,91	2,80	8
Вологодская область	117,6	35,5	120,7	1,10	0,64	1,08	2,82	7
Калининградская область	103,6	36,9	84,4	0,97	0,67	0,76	2,39	10
Ленинградская область	87,3	31,2	73,1	0,82	0,56	0,65	2,03	11
Мурманская область	109,9	48,3	134	1,03	0,87	1,20	3,10	5
Новгородская область	126,2	40,4	111	1,18	0,73	0,99	2,90	6
Псковская область	124,1	34,4	110,7	1,16	0,62	0,99	2,77	9
гор. Санкт - Петербург	100,8	83,5	108,5	0,94	1,51	0,97	3,42	1

Аналогичным образом можно получить многофакторные группировки районов по другим блокам – экономического развития и экологической ситуации (таблицы 2 – 3) [9].

Таблица 2

Распределение районов Северо-Западного федерального округа по степени материальной обеспеченности населения (2006 год)

Название	Абсолютные показатели			Нормированные показатели			Сумма Нормир. показат.	Ранговое место
	Среднедуш. доходы в мес.	Потреб. расходы в мес.	Среднем. зар. плата	Среднед. доходы в мес.	Потреб. расходы в мес.	Средне мес. зар. плата		
Северо-Западный федеральный округ	10952,9	7191,7	11851,3	1	1	1	3	*
Республика Карелия	8802,5	5645,5	10697,4	0,80	0,79	0,90	2,49	6
Республика Коми	13406,8	8938,5	14082,2	1,22	1,24	1,19	3,66	3
Архангельская область	9539,4	5901	11725	0,87	0,82	0,99	2,68	5
Ненецкий автономный округ	27201,3	6853,3	28591,6	2,48	0,95	2,41	5,85	1
Вологодская область	8673,2	4618,1	10666,6	0,79	0,64	0,90	2,33	9
Калининградская область	8887,6	5599,9	9720,3	0,81	0,78	0,82	2,41	7
Ленинградская область	8288,3	5194,4	10214,8	0,76	0,72	0,86	2,34	8

Мурманская область	12580	8124,2	15162	1,15	1,13	1,28	3,56	4
Новгородская область	7207	4853,5	8907,5	0,66	0,67	0,75	2,08	10
Псковская область	6382,3	5083,1	6973	0,58	0,71	0,59	1,88	11
гор. Санкт - Петербург	14097,7	9644,7	13033,2	1,29	1,34	1,10	3,73	2

Таблица 3

**Распределение районов Северо-Западного федерального округа
по экологической ситуации (2006 год)**

Название	Абсолютные показатели		Нормированные показатели		Сумма нормиров. показат.	Ранговое место
	Выбросы от стац. источ (тыс.тонн)	Автотранспорт (тыс.тонн)	Выбросы от стац. источ (тыс.тонн)	Автотранспорт (тыс.тонн)		
Северо-Западный федеральный округ	2302	1416	1	1	2	*
Республика Карелия	124	73	0,58	0,57	1,14	7
Республика Коми	670	123	3,11	0,96	4,07	1
Архангельская область	335	113	1,56	0,88	2,43	5
Ненецкий автономный округ	65	5	0,30	0,04	0,34	11
Вологодская область	483	142	2,24	1,10	3,35	3
Калининградская область	26	111	0,12	0,86	0,98	8
Ленинградская область	247	175	1,15	1,36	2,51	4
Мурманская область	293	62	1,36	0,48	1,84	6
Новгородская область	55	74	0,26	0,57	0,83	9
Псковская область	17	82	0,08	0,64	0,72	10
гор. Санкт - Петербург	53	456	0,25	3,54	3,79	2
Среднее значение	215	129	1	1	2	*

С помощью многофакторных группировок окружающей ситуации можно распределять районы на определенное число классов. Полученные распределения районов могут быть использованы в течение нескольких лет, учитывая относительную инертность социально-экономических, демографических и экологических факторов. Данный подход позволяет разработать так называемый профиль районов.

Корреляционный анализ. Корреляционный анализ позволяет оценить знак, тесноту и характер стохастической связи между случайными величинами и включает в себя выполнение следующих этапов: построение диаграммы рассеяния и качественный анализ характера стохастической связи, оценка коэффициента корреляции по выборке, проверка статистической гипотезы о значимости коэффициента корреляции, интерпретация полученных результатов и статистические выводы.

Наиболее широкое распространение для численной оценки величины, знака и характера стохастической связи получил параметр, называемый простым коэффициентом корреляции или коэффициентом корреляции Пирсона. Использование коэффициента корреляции Пирсона для анализа зависимости между случайными величинами дает удовлетворительный результат при линейном характере связи между ними.

В таблице 4 рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона, связывающие уровень заболеваемости, смертности и младенческой смертности с основными экологическими и социально-экономическими показателями для Северо-Западного федерального округа. Следует отметить, что в Северо-Западном федеральном округе из рассмотрения исключен Ненецкий автономный округ, в связи с тем что, как показал предварительный анализ, эта территория является точкой выброса и сильно искажает общую тенденцию основных показателей округа. На уровне значимости $p < 0,05$ коэффициент корреляции Пирсона для Северо-Западного федерального округа при числе наблюдений $n=10$ будет значимо отличаться от нуля при $R > 0,63$.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Пирсона, связывающие уровень общей заболеваемости (на 100 тыс.чел.) и смертности (на 1000 чел) с основными экологическими и социально-экономическими показателями для Северо-Западного федерального округа (2006 год)

Факторы	Всего болезней	Новообразования	Болезни системы кровообращения	Болезни органов дыхания	Болезни органов пищеварения	Смертность	Младенческая смертность	Аборты на 1000 женщин 15-49 лет
1. Блок население								
Удельный вес городского населения	0,35	0,50	0,36	0,14	0,10	-0,63	-0,50	-0,68
Ожидаемая продолжительность жизни	0,30	0,20	0,31	0,26	-0,01	-0,68	-0,72	-0,31
2. Блок социально-экономических показателей								
Среднедушевые доходы в месяц	0,33	0,31	0,16	0,35	-0,02	-0,85	-0,64	-0,49
Потребительские расходы в месяц	0,34	0,41	0,22	0,17	0,01	-0,70	-0,54	-0,62
Среднемесячная заработная плата	0,32	0,27	0,07	0,43	0,06	-0,93	-0,48	-0,33
ВРП (млн.руб.)	0,14	0,18	0,37	-0,01	-0,17	-0,34	-0,67	-0,49
Уровень безработицы (в %)	-0,04	-0,13	-0,34	0,23	-0,09	-0,12	0,24	0,19
Число больничных коек на 10 тыс.чел.	0,34	0,40	0,29	0,59	0,60	0,29	0,60	0,59
Число врачей на 10 тыс.чел.	0,54	0,55	0,57	0,35	0,29	-0,47	-0,53	-0,49
Численность среднего мед. персонала на 10 тыс.чел.	0,55	0,44	0,20	0,85	0,53	-0,46	0,18	0,33
Студенты ВУЗов на 10 тыс. чел.	0,40	0,41	0,47	0,19	0,11	-0,37	-0,50	-0,40
3. Блок экологических показателей								
Выбросы от стационарных источников (тыс.тонн.)	0,08	-0,20	-0,28	0,49	-0,12	-0,53	-0,16	0,42
Выбросы от стационарных источников (тонн/км2)	0,20	0,30	0,47	-0,04	-0,10	-0,23	-0,61	-0,53
Сброс сточных вод (млн.м3)	-0,32	-0,15	0,06	-0,44	-0,41	-0,07	-0,47	-0,54

Выбросы от автотранспорта (тыс.тонн.)		0,07	0,11	0,35	-0,11	-0,23	-0,19	-0,67	-0,47
4. Блок комплексных показателей									
Комплексный показатель обеспеченности ресурсами здравоохранения		0,80	0,66	0,54	0,78	0,59	-0,45	-0,10	-0,01
Комплексный показатель материальной обеспеченности населения		0,34	0,35	0,16	0,36	0,02	-0,85	-0,57	-0,51
Комплексный экологический показатель		0,10	-0,09	0,02	0,32	-0,26	-0,57	-0,62	0,00

Таким образом, для Северо-Западного федерального округа удалось установить следующие закономерности:

1. Как общая заболеваемость населения территории, так и по отдельным нозологическим типам, статистически достоверно связана с обеспеченностью региона ресурсами здравоохранения. Комплексный показатель обеспеченности ресурсами здравоохранения и общей заболеваемости $R=0,8$.
2. Можно предположить, что существует определенная тенденция к росту заболеваемости органов дыхания при увеличении выбросов от стационарных источников ($R=0,49$ на уровне значимости $p=0,15$).
3. Смертность населения статистически достоверно имеет обратную связь с основными экономическими показателями: среднедушевыми доходами в месяц ($R=-0,85$), потребительскими расходами в месяц ($R=-0,7$), среднемесячной заработной платой ($R=-0,93$), комплексным показателем материальной обеспеченности населения ($R=-0,85$).

Регрессионный анализ. Установить степень влияния на здоровье населения региона социо-эколого-экономических факторов можно с помощью специальных технических приемов. Часто используется регрессионный анализ, позволяющий с помощью уравнения регрессии, построенного по данным об уровнях факторов в течение определенного времени, определить влияние каждого из них. Для каждой территории может быть построено регрессионное уравнение, связывающее уровень здоровья населения со значением выбранных факторов. Оценка воздействия состояния окружающей среды на здоровье населения на макроуровне (например, в целом для страны) осуществляется агрегированием данных, полученных для всех территорий.

Первым шагом к статистическому оцениванию уравнения регрессии является предположение о возможном виде уравнения регрессии. Это предположение строится исходя из экологического, физического, технологического, экономического существа исследуемого процесса с учетом вида диаграммы рассеяния, эмпирических значений

коэффициентов корреляции и корреляционного отношения. Для решения практических задач наиболее широко используют два класса уравнений: класс линейных регрессионных уравнений (моделей), класс нелинейных регрессионных уравнений (моделей).

Сложность экологических систем приводит к тому, что функциональную связь между компонентами системы трудно описать традиционными методами. В этом случае исследователи прибегают к аппроксимации этой функциональной связи на основе экологических и социально-экономических представлений с помощью разумно подобранных математических функций.

Воздействие экологических и социально-экономических факторов на уровень заболеваемости в общем виде может быть описано с помощью функциональной зависимости:

$$Z = f_1(s_1, s_2, \dots, s_n) \times f_2(e_1, e_2, \dots, e_m), \quad (1)$$

где Z – уровень заболеваемости определенного типа, $f_1(s_1, s_2, \dots, s_n)$ – функция, описывающая влияние на уровень заболеваемости социально-экономических факторов s_1, s_2, \dots, s_n , $f_2(e_1, e_2, \dots, e_m)$ – функция, характеризующая влияние на уровень заболеваемости экологических факторов e_1, e_2, \dots, e_m . Так как социально-экономические и экологические факторы оказывают одновременное действие на уровень заболеваемости (комплексный эффект), то целесообразно использовать произведение функциональных зависимостей, характеризующих эти процессы.

Выражение (1) может быть записано в упрощенном виде:

$$Z = f_1(s) \times f_2(e). \quad (2)$$

где Z – уровень заболеваемости определенного типа, s, e – главные (основные) факторы в группе социально-экономических и экологических показателей или комплексные оценки.

Логично предположить, что рост уровня заболеваемости при увеличении, как первого, так и второго фактора, не может происходить бесконечно, т.е. функции $f_1(s), f_2(e)$ должны иметь определенное ограничение.

Для Северо-Западного федерального округа была построена зависимость заболеваемости органов дыхания от комплексного показателя обеспеченности ресурсами

здравоохранения и выбросами от стационарных источников (тыс.тонн) с использованием модели $Z = A \times S^a E^b$. Численные эксперименты показали, что модель с достаточной степенью точности соответствует статистическим данным, что подтверждается данными рис. 1.

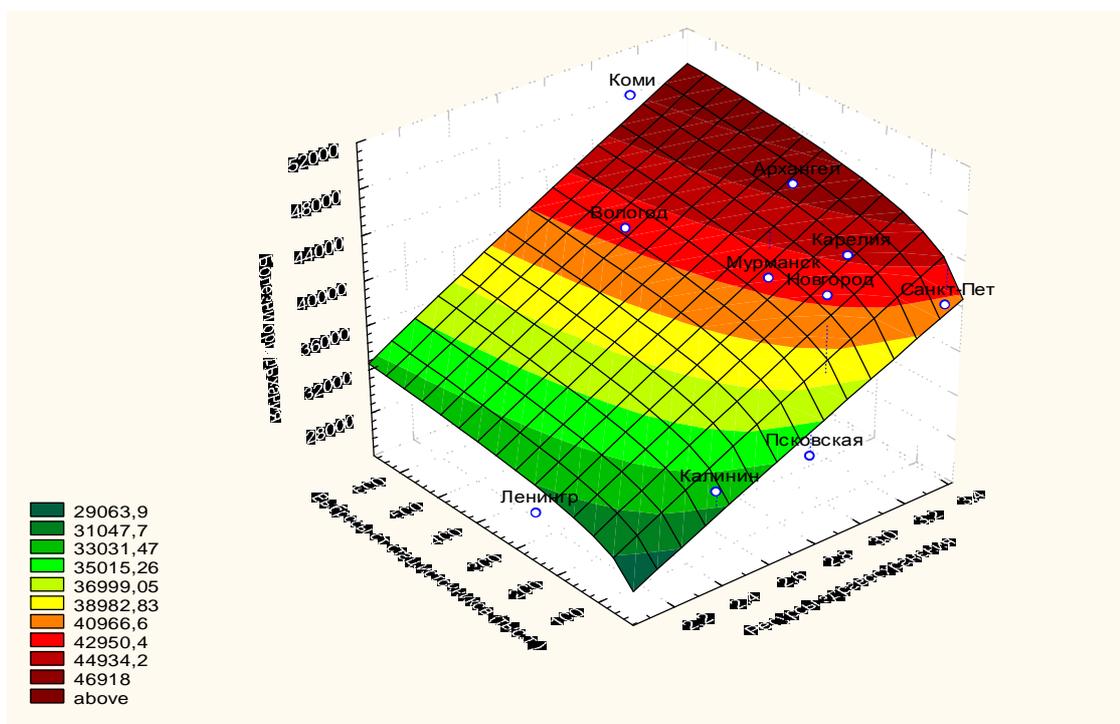


Рис. 1. Зависимость болезней органов дыхания для Северо-Западного ФО от ресурсов здравоохранения и выбросов от стационарных источников (тыс.тонн) по модели

$$Z = A \times S^a E^b$$

Для оценки влияния социо-эколого-экономических факторов на уровень заболеваемости населения могут быть использованы различные технические приемы. Практически более значимый подход – это использование статистических методов (кластерного, корреляционного и регрессионного анализа). Полученные в рамках исследования многофакторные степенные регрессионные модели позволили оценить уровень общей заболеваемости с помощью комплексных социально-экономических и экологических показателей. Результаты расчетов могут быть использованы при разработке региональных демографических, экологических и социально-экономических программ, а также для прогнозирования уровня заболеваемости в регионе. Следует отметить, что улучшение качества и доступности медицинского обслуживания увеличивает уровень заболеваемости, в силу лучшей диагностики различных патологий,

однако значительно снижает уровень смертности. В свою очередь снижение уровня смертности является одной из приоритетных задач для России и регионов, которые столкнулись в последние годы с серьезным демографическим кризисом.

Список литературы

- 1 *Акимова Т.А., Хаскин В.В., Сидоренко С.Н., Зыков В.Н.* Макроэкология и основы экоразвития. М.: Изд-во РУДН, 2005, 367 с.
- 2 *Батурич В.А., Батурина Е.Ю., Бычков И.В. и др.* Моделирование и оценка состояния медико-эколого-экономических систем / Под ред. В.А. Батурина; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т динамики сист. и теории управл. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 249 с.
- 3 *Вараксин А.Н.* Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине. Екатеринбург: Изд-во «Гощицкий», 2006. – 256 с.
- 4 *Гублер Е.В.* Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л.: Медицина, 1978.
- 5 *Доршакова Н.В., Герасимова Л.И., Тараканова Л.И.* Человек и окружающая среда. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. – 274 с.
- 6 *Келина Н.Ю., Безручко Н.В.* Экология человека. Ростов н/д: Феникс, 2009. – 294 с.
- 7 *Прохоров Б.Б., Горшкова И.В., Шмаков Д.И., Е.В. Тарасова Е.В.* Общественное здоровье и экономика. М.: МАКС-Пресс, 2007.
- 8 *Ризниченко Г.Ю.* Математические модели в биофизике и экологии. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
- 9 *Статистический сборник Регионы России.* Социально-экономические показатели. М.: Росстат, 2008 г.
- 10 *Сугак Е.В., Окладникова Е.Н., Кузнецов Е.В.* Вычислительные и информационные технологии анализа и оценки социально-экологических рисков // Экология и промышленность России, август 2008 г. С. 24 – 29.
- 11 *Экология. Военная экология.* Москва-Волгоград: ПринТерра, 2008. – 720 с.