

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ – СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

В. Н. Чуканов

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Введение

Институт промышленной экологии УрО РАН организован в 1992 г. на базе Научно-инженерного центра экологической безопасности УрО РАН.

Создание и становление Института совпало с тяжелым переходом в жизни нашей страны. Это не могло не отразиться на выборе научной тематики и характере решаемых задач. Необходимо было выйти на качественно иной уровень обобщения, чтобы увидеть место экологических проблем в ряду всех остальных: медицинских, социальных, экономических, демографических и т. д., причем увидеть во взаимосвязи и взаимозависимости. Первый шаг в понимании этого сделан.

Основной вывод – эффективное решение масштабных многофакторных и разноплановых экологообусловленных проблем возможно только при комплексном системном подходе.

Эффективно решить проблемы по отдельности: экологические, основываясь только на экологических принципах; экономические, учитывая только экономические аспекты; медицинские, рассматривая только проблемы здоровья населения и т. д., невозможно. Связано это с тем, что, как правило, экологические проблемы решаются в комплексе в целях, например, улучшения здоровья населения, экономической или демографической сатурации, повышения качества жизни и т. д. Но когда мы увязываем состояние окружающей природной среды и здоровья населения, окружающей среды и экономики, начинают действовать свои критерии и принципы, которые отличаются от чисто экологических, медицинских, экономических принципов, например, определения приоритетов.

Задача, стоящая сегодня перед коллективом Института, – на основе принципов системного анализа разработать методологию решения комплексных и экологозависимых проблем на уровнях от локального, регионального и выше.

Это и определило основные научные направления:

- Системный анализ и моделирование многофакторного воздействия на биологические среды и здоровье населения; экологическая безопасность; риски.
- Устойчивое развитие территорий – системный анализ экологических, социальных и экономических проблем и оценка соответствующих последствий при различных сценариях развития территории.
- Исследование процессов тепломассопереноса, характерных для проблем экологии.
- Приведем ряд результатов применения системного подхода, полученных сотрудниками Института.

Проблема радиоактивно-загрязненных территорий Уральского региона – системный подход

По совокупности проблем, сложившихся в Уральском регионе, радиационно-экологическая ситуация не имеет аналогов. Проблемы связаны в основном с последствиями деятельности первого в нашей стране атомно-промышленного комплекса по наработке оружейного плутония (ПО «Маяк» Челябинской области). Их условно можно разделить на два класса: проблемы накопленных отходов и проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды.

На промплощадке ПО «Маяк» накоплено более 1 млрд Ки активности жидких и твердых радиоактивных отходов. Значительная часть их депонирована в открытых природных средах. Особую тревогу вызывает оз. Карачай, в котором находится около 120 млн Ки, и каскад радиоактивных водоемов на р. Тече. Под озером образовалась линза радиоактивно-загрязненных подземных вод, которая движется вдоль меридионального разлома. В южном направлении она уже прошла под ложем р. Мишеляка, притока р. Течи, в которую отмечены выходы радиоактивности.

Загрязнение региона обусловлено газоаэрозольными выбросами, особенно в начальный период работы, в результате штатной деятельности предприятия и тремя радиационными инцидентами:

Сброс радиоактивных отходов суммарной активностью около 2,75 млн Ки в р. Течу, в основном в период с 1949 по 1952 г., что привело к загрязнению гидрографической системы Теча – Исеть – Тобол – Иртыш – Обь.

Тепловой взрыв емкости с высокоактивными жидкими отходами 29.09.57. Около 2 млн Ки активности было поднято в воздух, и радиоактивное облако прошло в сторону Тюмени, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). В зону ВУРСа попали десятки населенных пунктов, в том числе города Багаряк, Каменск-Уральский, Камышлов.

Разнос радиоактивной пыли активностью ~600 Ки (апрель 1967 г.) с обнажившейся донной поверхности оз. Карачай.

Разработка комплексов научных рекомендаций по оздоровлению радиоактивно-экологической ситуации была начата в 1990 г. в рамках специально созданных комиссий АН СССР и президента СССР. Основные итоговые документы этих комиссий сформулированы группой специалистов ИПЭ (в то время НИЦЭБ) УрО РАН. В них содержались предложения о Государственной программе по реализации срочных мер, аналогичной Чернобыльской, обоснованы ее направления и комплексная структура. На всех последующих этапах разработки, научного обеспечения и реализации программных мер Институт принимал непосредственное участие. При подготовке Государственной программы РФ по радиационной реабилитации Уральского региона и мерах оказания помощи пострадавшему населению на период 1992–1995 гг. ИПЭ от имени УрО РАН разрабатывал ее научный раздел. В период реализации Программы Институт обеспечивал координацию научных исследований.

К сожалению, экономические условия в стране не позволили реализовать Программу в полном объеме. В результате при участии Института была разработана и утверждена новая Федеральная целевая программа на период до 2000 г. В настоящее время, опять же при участии Института, разрабатывается программа социальной реабилитации и радиационной безопасности региона на период до 2010 г.

За минувшие восемь лет под научным руководством Института и при его непосредственном участии выполнены комплексные исследования долгосрочных

последствий радиоактивного загрязнения для окружающей среды, здоровья населения, социально-экономической сферы пострадавших территорий. Получены результаты фундаментального характера, заставившие принципиально пересмотреть концепцию реабилитации населения и территории.

На основе системного анализа установлено, что:

- загрязнение носит фрактальный характер; начальная версия радиоактивного загрязнения территории, заложенная в первой Программе, не соответствует действительности;
- полученная оценка накопленной коллективной дозы населением $\sim 5\text{--}104\text{ Зв}$ позволяет сделать вывод, что суммарное радиационное воздействие, обусловленное деятельностью ПО «Маяк», сопоставимо с последствиями Чернобыльской катастрофы;
- радиационный фактор, приоритетный с экологической точки зрения, не является приоритетным или определяющим в ряду факторов, формирующих здоровье жителей г. Каменска-Уральского. Однако иммунно-гематологический статус населения, проживающего с момента аварии на радиоактивно-загрязненной территории, в том числе потомков во втором и третьем поколениях, отличается от такового для населения, проживающего на радиоактивно чистой территории;
- выявленный масштаб опосредованных последствий радиационных аварий – снижение уровня и качества жизни, ухудшение общего состояния здоровья и депопуляция населения – привел к ущербу, на порядок превышающему необходимые затраты на реабилитацию населения и территорий;
- в настоящее время в регионе развивается крупномасштабная авария, обусловленная неуправляемым распространением радионуклидов в гидросфере.

Применимость методов системного анализа

С самого начала принципиально важно было определить степень применимости методов системного анализа для решения взаимозависимых экологообусловленных проблем. Например, насколько обоснованно можно применять один из мощнейших методов системного анализа – метод анализа иерархий.

Одна аксиома этого метода гласит, что при объединении нескольких систем в одну, т. е. при выходе на более высокий уровень обобщения, или уровень иерархии, приоритеты нового уровня не зависят от приоритетов более низкого уровня. Системные и масштабные исследования по проверке этого принципа проведены в г. Каменске-Уральском и Каменском районе Свердловской области.

В результате аварии на ПО «Маяк» северная часть г. Каменска-Уральского оказалась загрязненной радионуклидом ^{90}Sr до уровней, в среднем превышающих 4 Ки/км^2 . Критерием безусловного отселения жителей с радиоактивно-загрязненных территорий был уровень загрязнения 2 Ки/км^2 . Период полураспада ^{90}Sr около 30 лет. Поэтому, по сути дела, население этой части города в минувшие сорок лет жило в условиях, соответствующих статусу зоны экологического бедствия по радиационному фактору. Ни по какому другому фактору – состоянию атмосферы, почвы, гидросферы – положение не соответствовало и не соответствует этому статусу. Оставаясь на экологических принципах, необходимо признать радиационный фактор приоритетным и, соответственно, программа реабилитации территории в первую очередь должна быть направлена именно на его нейтрализацию. Логично предположить, что этот фактор будет определяющим среди факторов, формирующих

здоровье населения, особенно если рассматривать онкологические заболевания, поскольку основным следствием радиационного воздействия являются раковые заболевания.

Однако исследования показали, что радиационный фактор не является определяющим даже для раковых заболеваний. Только для рака молочной железы он занимает пятое ранговое место, для остальных локализаций – еще менее значимые места. Среди факторов, формирующих здоровье детей дошкольного возраста, радиационный занимает ранговые места с седьмого и ниже, соответственно, вклад его в общее изменение здоровья не превышает нескольких процентов.

Следовательно, программа реабилитации, составленная только на основе экологических принципов, будет неэффективна. Таких примеров можно привести достаточно много. Можно сделать вывод, что для такого уровня и масштаба задач применение метода анализа иерархий оправданно. Применение же принципиальной схемы системного анализа возможно к любой проблеме.

Технология системного анализа

Покажем технологию применения системного анализа на примере выделения или оценки вклада радиационного фактора в формирование здоровья населения, в частности, здоровья детей.

Общая схема анализа такова:

Реализация глобальной цели методами системного анализа



1. Определяется глобальная цель. В нашем случае – это оценка влияния хронического облучения, связанного с длительным проживанием на радиоактивно-загрязненных территориях, на здоровье населения.

2. Глобальная цель разбивается на дерево, или иерархию целей, до уровня, где используются стандартные методы достижения цели.

Первый иерархический уровень целей составляют общие факторы, способные оказывать влияние на здоровье населения, а именно загрязнение окружающей среды и социально-экономические факторы. К этому уровню относится и оценка параметров здоровья населения.

Второй уровень представляет собой детализацию общих факторов. Оценка состояния окружающей среды разделяется на два блока: на оценку радиоактивного и общетехногенного загрязнения. Социально-экономические факторы подразделяются на уровень и качество жизни и демографические факторы.

Третий уровень еще более конкретизирован. В основном на этом уровне производятся измерение и расчет составляющих общих факторов или параметров и ранжирование по ним территории. В нашем случае третий уровень выглядит следующим образом.

Оценка радиоактивного загрязнения территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС):

1. Оценка радиоактивного загрязнения территории ВУРСа на настоящий момент.

2. Реконструкция первоначального характера и уровней загрязнения зоны ВУРСа.

3. Разработка методов расчетных и экспериментальных ретроспективных оценок коллективных и индивидуальных доз облучения.

4. Классификация населения по уровням облучения.

Оценка общетехногенного загрязнения:

1. Экологическая характеристика источников загрязнения окружающей среды – количественный и качественный состав выбросов и сбросов загрязняющих веществ (металлы, органические и неорганические соединения).

2. Загрязнение атмосферного воздуха – расчет полей концентраций загрязняющих веществ в зависимости от высоты и метеорологических условий (максимальных разовых концентраций, усредненных за различные периоды усреднения).

3. Загрязнение почвы, снега, подземных и поверхностных вод, продуктов питания, питьевой воды.

Оценка уровня жизни населения:

1. Средняя заработная плата.

2. Выплаты социального характера.

3. Прожиточный минимум на душу населения в месяц.

4. Уровень жизни населения $[(1)+(2)]/(3)$.

5. Безработица, учтенная и скрытая.

6. Покупательная способность населения.

7. Уровень потребления продуктов питания в среднем за месяц на 1 члена семьи.

8. Розничный товароборот.

Когда речь идет о здоровье детей, в дополнение к характеристике уровня жизни дается характеристика детских дошкольных учреждений, включающая в себя 19 параметров.

Оценка качества жизни населения:

1. Обеспеченность жильем, м² на чел.

2. Благоустройство жилого фонда.

3. Обеспеченность больницами и поликлиниками.
4. Обеспеченность школами и детскими дошкольными учреждениями.
5. Состояние социальной инфраструктуры: автомобильные дороги, телефонная сеть, обеспеченность культурными учреждениями и т. д.

Привести все или значительную часть результатов исследований по блокам 3-го уровня в данной статье не представляется возможным. Они опубликованы в ряде статей и монографий. Приведем лишь два примера, характеризующих масштаб и сложность проблем.

Для установления характера текущего загрязнения территории ВУРСа ^{90}Sr только в Свердловской области обследована территория в 1 600 км²; отобрано около 3 000 проб из почти 440 точек отбора. На основе полученных материалов созданы почти рабочие карты-схемы плотности загрязнения территории: Каменского района, М 1:100 000; Богдановичского района, М 1:100 000; г. Каменска-Уральского, М 1:50 000; г. Камышлова, М 1:25 000.

Для восстановления первоначального уровня загрязнения было проведено исследование вертикальной миграции радионуклидов в почве и определен период ее полуочищения. Характер распределения содержания ^{90}Sr по высоте практически одинаков для почв данного региона (чернозем выщелоченный, почва серая лесная и дерново-подзолистая) и имеет деформированную колоколообразную форму. Спустя 40 лет после аварии 70–90 % от общего на данный момент содержания радионуклида находятся в поверхностном корнеобитаемом слое толщиной 15–20 см.

Определение накопленной дозы и распределение населения по величине накопленной дозы, опять же только для Свердловской области, было выполнено для 86 населенных пунктов. Источниками облучения населения являются загрязненные территории в результате аварии и штатные газоаэрозольные выбросы.

Оценка доз проводилась с учетом внешнего облучения, а также поступления радионуклидов с пищей и ингаляционным путем. Наибольшие трудности возникли при расчете доз в начальный период после аварии, когда наряду с ^{90}Sr территория была загрязнена относительно короткоживущими излучателями. Ориентировочный состав радиоактивного выброса $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y} - 5,4$; $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb} - 24,9$; $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr} - 66$; $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh} - 3,7$; $^{137}\text{Cs} - 0,036$ %. При этом на 1 Ки/км² по ^{90}Sr приходилось 4,6 Ки/км² $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$, 12,2 Ки/км² ^{144}Ce и около 0,7 Ки/км² ^{106}Ru .

Были рассчитаны эквивалентные дозы облучения на отдельные органы (красный костный мозг, желудок, тонкий кишечник), нормированные на плотность поверхностного загрязнения 1 Ки/км² по ^{90}Sr .

Аналогичного масштаба исследования проведены и по другим блокам. В результате имеется полная картина как экологического, так и социального состояния территории и всех приоритетных факторов в каждом блоке, формирующих здоровье населения.

Для обработки, представления и анализа информации использовались геоинформационные системы ArcView и MapInfo и их модификации. На электронную топографическую основу накладывались информационные слои вместе с соответствующим программным обеспечением, позволяющим проводить интерполяционные и прогностические процедуры для каждого фактора и по их комбинациям, а также зонирование территории как по отдельным факторам, так и по их совокупности.

Например, определен суммарный показатель загрязнения атмосферы, или индекс загрязнения атмосферы, г. Каменска-Уральского с годичным периодом усреднения. Аналогичные карты имеются на каждый день, неделю, месяц, сезон. В показа-

тель входят 55 веществ, наиболее значимых для г. Каменска-Уральского: тяжелые металлы и их оксиды, органические и неорганические соединения. Для каждого вещества и соответствующих групп суммаций имеются карты уровней загрязнения с разными периодами усреднения и карты максимальных разовых концентраций пыли на территории города.

Здоровье населения. Второй иерархический уровень параметров здоровья населения составляют рождаемость, смертность и заболеваемость. При этом в блок параметров рождаемости входят, кроме того, патология беременности и родов и состояние здоровья новорожденных. В параметрах смертности учитываются перинатальная и младенческая смертность, смертность по полу, возрасту, другим причинам и онкологическая смертность. Заболеваемость подразделяется на первичную и общую по классам, в том числе отдельно исследуется онкологическая заболеваемость детей, подростков и взрослых.

Поскольку глобальная цель – выявление роли радиационного фактора в формировании здоровья населения, то оценка параметров здоровья производилась в рамках традиционного подхода: случай – контроль или копия – пара, где в качестве основной территории была радиоактивно-загрязненная, а контрольной – территория, максимально близкая по экологическим, климатическим, социальным и другим параметрам, но отличающаяся по интенсивности радиоактивного загрязнения.

Исходя из этих требований, например для Каменского района, был выбран Артинский район, расположенный также на юге Свердловской области и не попавший под радиоактивное загрязнение. Для обоих районов было проведено сравнение всех параметров здоровья. В качестве примера в табл. 1 приведены показатели первичной заболеваемости взрослого населения.

Таблица 1. Основные показатели первичной заболеваемости взрослого населения Каменского и Артинского районов Свердловской области, на 1 000 человек

Класс болезней	Каменский р-н	Артинский р-н (контроль)
Болезни органов дыхания	254	157
Болезни нервной системы и органов чувств	117	64
Болезни крови	0,9	0,7
Болезни системы кровообращения, в т. ч. гипертоническая болезнь	103 21	44 12
Заболеваемость органов пищеварения, в т. ч. язвенная болезнь желудка и 12-перстной кишки	45 10	37 6
Болезни мочеполовой системы	44	29
Осложнения беременности и родов	10	6
Болезни костно-мышечной системы	57	36
Врожденные аномалии	0,5	0,1

Для дальнейших исследований на третьем иерархическом уровне и, соответственно, последующей оценки роли радиационного фактора выбирались болезни или параметры, различие в показателях которых было статистически достоверно.

К третьему иерархическому уровню оценки параметров здоровья относится донозологическая диагностика: компьютерная диагностика, биохимический анализ жидких сред организма и определение содержания вредных веществ в биосубстратах, физиологические параметры, иммунологический статус, комиссионное обследование.

В большинстве донозологических исследований использовался созданный в 1991 г. в Институте промышленной экологии УрО РАН программно-аппаратный комплекс ВИТА-МАРС, в основе которого заложены методики, разработанные Р. М. Баевским и сотр. (Институт медико-биологических проблем) и А. П. Берсеновой и сотр. (Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского).

Комплекс состоит из компьютера, стандартного одноканального кардиографа, интерфейсной платы связи компьютера с кардиографом и собственно программного обеспечения (экспертная система). Комплекс обеспечивает сбор, хранение и первичную обработку данных.

Методика ВИТА представляет собой согласованную систему сбора и частичного анализа данных, включающую анкетный опрос пациента (паспортные данные, анамнез, жалобы, условия жизни), антропометрические измерения, кардиологические исследования, данные осмотра средним медицинским персоналом. Анкетный опрос может проводиться как в диалоговом режиме, так и посредством опросных бланков, заранее раздаваемых пациентам.

На основании первичных данных формируются показатели гемодинамики, профили вероятной патологии, факторы риска и т. д., а также обобщающий параметр, называемый индексом функциональных изменений (ИФИ).

Методика МАРС (математический анализ ритма сердца) может быть использована как независимый инструмент, так и в составе методики ВИТА. В последнем случае результаты обработки по методике МАРС учитываются ВИТОЙ как дополнительные параметры.

Методика МАРС основана на математическом анализе последовательности кардиоинтервалов (100 временных промежутков между отдельными сердечными сокращениями, регистрируемых кардиографом). Авторы методики МАРС связывают вариабельность кардиоинтервалов с различными видами регуляции внутри организма. Результатом расчетов являются показатели функционирования отдельных контуров регуляторной системы организма. На их основе выводится показатель состояния регуляторной системы в целом. Методика первоначально разрабатывалась для оценки состояния регуляции организма космонавтов во время полета, поэтому наиболее удобна для оценки состояния взрослых практически здоровых людей.

Программно-аппаратный комплекс ВИТА-МАРС применялся в ИПЭ УрО РАН для определения состояния здоровья населения во многих экологических исследованиях, в том числе на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, бассейне р. Течи и на контрольных территориях. Методики использовались как самостоятельно, так и в комплексе с другими методами оценки здоровья (данные статистики, оценки биовозраста, осмотры специализированными медицинскими бригадами, специфические лабораторные методы и т. д.).

Оценка вклада радиационного и других факторов в формирование здоровья населения

После проведения комплекса исследований параметров или факторов третьего иерархического уровня мы имеем полную структурированную информацию о

состоянии и динамике изменения радиационной и полной экологической обстановки, социальной и демографической ситуации, т. е. полный набор ранжированных по степени значимости параметров, влияющих на здоровье населения, знаем, какие параметры здоровья на радиоактивно-загрязненной территории достоверно отличаются от их значений на контрольных территориях. Одним словом, имеем всю необходимую информацию для установления корреляции между параметрами здоровья и факторами, формирующими его. Эта связь устанавливается при помощи метода распознавания образов. Метод достаточно мощный и универсальный, но, естественно, имеющий свои ограничения, которые нужно знать, чтобы его эффективно применять.

Пожалуй, основное ограничение состоит в том, что «заметить» влияние на здоровье (глобальная цель) можно только тех параметров или факторов, которые отличаются для исследуемой и контрольной групп населения. И чем сильнее различие, тем достовернее результаты.

Рассмотрим методологию распознавания образов на следующем примере.

1. Обследуются дети 4–7 лет, проживающие в Ленинском поселке г. Каменска-Уральского. Этот поселок вследствие аварии 1957 г. был загрязнен радионуклидами наиболее сильно. Подчеркнем, что все дети живут в одном месте.

2. Формируются две группы детей: эпизодически болеющие (ЭБ) и часто болеющие (ЧБ). Принципы формирования групп четко определены: если ребенок 7 лет болел менее 11 раз за всю жизнь, он помещается в группу ЭБ, а если более 20 раз, то в группу ЧБ. В каждой группе примерно по 300 человек. Можно сформировать три и более групп, все принципы сохраняются.

3. Вопрос: влияет ли на здоровье этих детей то обстоятельство, что их предки проживали или не проживали на радиоактивно-загрязненной территории в первые годы после аварии?

4. Определяется набор признаков, влияющих на здоровье детей:

- наличие предков, проживавших на радиоактивно-загрязненной территории в первые годы после аварии (11 признаков, характеризующих факты проживания на радиоактивной территории отца ребенка, матери ребенка, бабушки и бабушки по отцовской и материнской линиям и т. д.);
- уровень общетехногенного загрязнения территории в месте жительства ребенка и в месте расположения детского сада, который посещает ребенок (59 признаков, характеризующих загрязнение атмосферы, почвы и снега);
- уровень и качество жизни и демографическая характеристика семьи (31 признак);
- образ и условия воспитания в детском саду (19 признаков);
- индивидуальные особенности роста и развития ребенка (39 признаков).

Всего 159 признаков. Кстати, уровень радиоактивного загрязнения не включен в число признаков, поскольку на всей территории он примерно одинаков. Таким образом, в n -мерном пространстве ($n = 159$) имеется облако точек (~600), каждая из которых характеризует ребенка и среду, в которой он находится.

5. Суть метода распознавания образов заключается в том, чтобы из всего набора признаков выбрать такие, которые позволяют разделить «облако» на две части. При этом определяется также эффективность, или информативность, признака по его роли в этом процессе, т. е. ранговое место.

6. Был найден высокоинформативный набор из 20 признаков, обеспечивающих надежную классификацию (разделение детей на ЭБ и ЧБ). По общим принципам это именно те факторы, которые влияют на заболеваемость детей.

7. Признаки, характеризующие наличие облученных предков, заняли места: 10-е – наличие лучевой экспозиции у бабушки по линии матери; 12-е – наличие лучевой экспозиции у дедушки по линии матери; 13-е – общее количество облученных предков по линии матери и т. д.

8. На первых ранговых местах по влиянию на заболеваемость детей оказались признаки, характеризующие условия пребывания и организацию воспитательно-образовательного процесса в детском саду: тяжесть социальной адаптации при поступлении в детский сад, инсоляционный режим в основных помещениях детского сада, проектная вместимость детского сада и др.

9. Признаки, характеризующие химическое загрязнение местности, вообще не вошли в информативный набор, поскольку, как и в случае радиоактивного загрязнения, общетехногенное загрязнение территории, где расположены детские сады, хотя и сравнительно высоко, примерно везде одинаково. Главное, что поставленная цель – определить, является ли радиационный фактор (облучение предков) доминирующим или нет в формировании здоровья, – достигнута.

Оценка ущерба, нанесенного территории радиоактивным загрязнением

Применение метода системного анализа привело к довольно неожиданным результатам – суммарный ущерб оказался на порядок выше по сравнению с традиционным, «экономическим» подходом. В данном случае глобальная цель – оценка ущерба среди основных факторов первого уровня – экологические, социально-экономические и факторы здоровья.

На втором уровне из экологических факторов рассматривается только радиационный, общетехногенное загрязнение не учитывается. К социально-экономическим факторам добавляется блок непосредственного экономического ущерба, связанного с затратами на переселение жителей, реабилитацию загрязненных земель, с выведением из оборота земельных угодий и соответствующим недобором сельскохозяйственной продукции и со сносом социально-хозяйственных объектов. К ним же относятся социальные выплаты пострадавшему населению.

К демографическим факторам, существенным для оценки состояния здоровья, таким как численность населения школьного и дошкольного возраста, распределение населения в трудоспособном возрасте по возрастным группам, средний возраст и возрастной состав населения, образовательный уровень взрослого населения, добавляются: недожитие в трудоспособном возрасте и нанесенный ущерб, связанный с недопроизводством продукции; депопуляция населения, вызванная деградацией структурного распределения семей и как следствие уменьшением рождаемости; депопуляция за счет миграции. Все это ведет к уменьшению производства продукции на территории.

Ко всем факторам здоровья, названным выше, добавляются стохастические эффекты, обусловленные величиной накопленной дозы. Учет всех этих факторов и привел к нетривиальному результату.

Системный подход и экологические проблемы региона

Необходимым условием корректной оценки состояния части сложной взаимосвязанной и взаимозависимой системы является учет влияния воздействия всех остальных ее частей на выбранную или учет всех факторов, определяющих состояние данной части системы. Игнорирование этого условия и попытка связать изменение состояния одной части системы с изменением другой части без учета осталь-

ных приводит к неверным выводам. Например, общий принцип: «чем хуже экологическая ситуация, тем хуже состояние здоровья населения» справедлив только при равных: уровне и качестве жизни, уровнях культуры, образования, медицинского обслуживания, развития экономики и т. д.

Даже для таких больших систем, как области и республики Уральского региона, не говоря уже о городах и районах, нельзя напрямую связывать состояние здоровья населения с экологической напряженностью.

В качестве характеристики экологической ситуации рассмотрим состояние атмосферы, поверхностных вод и количество накопленных токсичных отходов.

По количеству суммарных выбросов вредных веществ в атмосферу Уральский экономический регион (УЭР) на протяжении последних лет занимает первое место среди экономических регионов России. Вклад региона в загрязнение атмосферы стационарными источниками на протяжении 1990–1997 гг. составлял 23–26 %. Наибольший вклад в выбросы региона дают Свердловская и Челябинская области: 31 и 26 % соответственно.

Зонирование региона по степени загрязненности поверхностных вод на региональном уровне в первом приближении можно провести на основе объема сбрасываемых загрязненных вод и их суммарного приведенного индекса опасности.

Сброс загрязненных сточных вод на территории УЭР составляет 10,2 % от общего по России. На долю Свердловской области приходится 31 % общего объема загрязненных сточных вод УЭР, доля Челябинской области составляет 25, Башкортостана – 20, Пермской области – 18 %. Динамика выбросов в атмосферу и сброса загрязненных сточных вод в водные объекты по республикам и областям УЭР показана в табл. 2. Там же представлены значения индекса опасности сбросов.

Таблица 2. Показатели воздействия на окружающую среду в Уральском экономическом регионе

Область, республика	Выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, тыс. т		Плотность эмиссии, т/(м ² /год)	Сброс загрязненных сточных вод, млн м ³		Приведенный индекс опасности сбросов	Колич. накопленных отходов, т/км ²
	1991 г.	1997 г.		1997 г.	1991 г.		
Башкортостан	854,0	645,5	5,4	578,2	486,8	0,65	506
Курганская	174,0	113,9	1,6	25,5	19,7	0,44	1,3
Оренбургская	912,0	515,3	4,4	147,7	78,7	0,89	683
Пермская	874,0	570,7	4,0	610,8	379,5	16,9	9,3
Свердловская	2 439,1	1 361,4	7,2	835,2	827,3	1,23	3 360
Удмуртия	254,0	207,1	4,8	69,1	35,8	2,80	59
Челябинская	2061,0	1038,4	10,8	662,0	777,0	3,73	673
Российская Федерация			1,0				

$$J = \sum(K_i/\text{ПДК}_i)/S,$$

где K_i – ежегодный сброс i -го поллютанта на территории области или республики, т/год;
 ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го поллютанта в воде, мг/л;
 S – средний многолетний сток на территории, м³/год.

В качестве параметра для зонирования региона по количеству накопленных токсичных отходов можно использовать в первом приближении количество отходов, приходящихся на единицу площади рассматриваемой территории (см. табл. 2).

По данным Госкомстата России на 01.01.97, на предприятиях Уральского региона размещено около 400 млн т токсичных отходов всех классов опасности, из которых почти 40 % – на территории Свердловской области. Особую тревогу вызывают токсичные отходы первого класса опасности (отходы гальванических производств, отходы, содержащие ртуть, хлорорганику, хром и др.) Таких отходов ежегодно на предприятиях УЭР образуется 65,5 % от общего их количества по Российской Федерации.

Не меньшую опасность представляет накопление на промплощадке ПО «Маяк» в Челябинской области радиоактивных отходов. С учетом накопленных радиоактивных отходов Челябинская область выходит на первое место по степени неблагоприятности, связанной с накоплением токсичных отходов.

На основании значений критериев, рассмотренных выше, различные экспертные оценки приводят к следующему ранжированию территорий по степени экологического неблагоприятия или экологической напряженности (табл. 3).

Таблица 3. Ранжирование территорий Уральского региона на основе экспертных оценок экологического неблагоприятия и ухудшения здоровья населения

Территория	Экологическая ситуация	Здоровье населения
Республика Башкортостан	2 – 3	7
Удмуртская республика	6	3 – 4 – 5
Курганская область	7	2
Оренбургская область	4	3 – 4 – 5
Пермская область	5	6
Свердловская область	2 – 3	3 – 4 – 5
Челябинская область	1	1

Причем при самых различных вариантах бесспорный лидер – Челябинская область, а аутсайдер – Курганская область. Аналогичное зонирование региона по состоянию здоровья населения, включающее первичную заболеваемость по разным видам болезней, новообразования, врожденные аномалии, болезни органов дыхания, пищеварения, эндокринной и костно-мышечной систем, болезни кожи, грипп, ОРЗ и т. д. (всего 13 показателей с последующей экспертной оценкой), привело к другой последовательности (см. табл. 3). Можно сделать вывод, что для Челябинской области ведущим фактором, определяющим состояние здоровья населения, является экологическая обстановка. Для Свердловской, Пермской и Орен-

бургской областей экологический фактор один из определяющих. Для Курганской области, Башкортостана он является фактором второго порядка.

Таким образом, экологические принципы, справедливые в своей среде, но перенесенные на более высокий уровень обобщения, оказываются неэффективны. В этом причина неудач федеральных, региональных и локальных экологических программ.

Статус зоны чрезвычайной экологической ситуации – системный подход

Институт осуществляет комплексное междисциплинарное исследование и решение проблем экологически неблагоприятных территорий. Разработанный в Институте единый подход, основанный на методологии системного анализа, применяется для комплексного исследования широкого круга экологических, экономических, социальных, медицинских и технологических проблем территорий различного уровня с последующей разработкой и сопровождением программ выхода из кризиса.

Иерархическая схема комплексной оценки состояния территории и установления приоритетов включает в себя:

- Первый блок – состояние среды обитания
- Второй блок – антропогенные источники воздействия на окружающую среду.
- Третий блок – социально-экономическая среда территории.
- Четвертый блок – состояние здоровья населения.
- Пятый блок – комплексная оценка состояния территории – системный анализ.

При исследованиях первого блока по оценке среды обитания рассматривается состояние компонентов окружающей среды:

- атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы, а также
- продуктов питания, состояние растительности, радиоактивное загрязнение.

Качество среды обитания оценивается системой санитарно-гигиенических, общеэкологических и других требований. Задача исследований этого блока – получить подробную картину распределения и концентрации загрязняющих веществ на территории.

Исследования второго блока включают характеристику антропогенных источников воздействия:

- перечень технологий, применяемых на территории промышленной зоны;
- виды и объемы загрязнений, поступающих в окружающую среду, с ранжированием их по степени опасности;
- анализ эколого-экономической эффективности деятельности предприятий.

Цель проводимого анализа – выделить основные объекты, оказывающие приоритетное воздействие на окружающую среду, и определить пути его уменьшения.

Работы третьего блока по оценке социально-экономической среды территории включают в себя оценки:

- социально-демографической ситуации;
- уровня и качества жизни;
- финансово-экономического положения территории;
- эколого-градостроительную оценку.

Целью исследований этого блока является характеристика социальной инфраструктуры и анализ финансового потенциала территории для проведения природоохранных мероприятий.

Исследования четвертого блока по оценке состояния здоровья населения (рождаемости, смертности, заболеваемости, распределению ее по половозрастным признакам и классам болезней и т. д.) проводятся на основе:

- материалов медицинской статистики;
- данных скрининг-обследования населения;
- результатов углубленных лабораторно-клинических обследований групп населения, выбранных по семейному принципу.

В результате исследований этого блока дается оценка состояния здоровья населения в сравнении с контролем и тенденция его изменения. По результатам углубленных исследований групп населения возможно выявление основных факторов риска потери здоровья.

Пятый блок представляет собой системный анализ всей информации с использованием методов математической статистики, где главенствующую роль играет метод распознавания образов. В результате определяются приоритетные экологические проблемы в плане их влияния на здоровье населения, экономику, социально-демографическую ситуацию. Как правило, приоритеты не совпадают.

На базе проведенного анализа формируется программа социально-экономического развития в условиях неблагоприятной экологической обстановки.

Программа имеет следующие основные цели:

- стабилизацию и доведение до нормативов показателей состояния окружающей среды;
- реабилитацию состояния здоровья населения;
- разработку системы социальных компенсаций населению за проживание в условиях экологического кризиса.

На основании результатов анализа определяются экологический статус территории и степень его соответствия статусу зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия.

В Институте по заданию Минприроды проведена апробация критериев для определения экологического статуса территории и на основе этих критериев впервые в стране обоснован статус города как зоны чрезвычайной экологической ситуации (г. Каменск-Уральский) и разработана Федеральная целевая программа первоочередных мер по нормализации обстановки, утвержденная правительством РФ. Аналогичная работа выполнена для Орска, Тулы, Липецка.

Статус присваивается, если есть соответствующие отклонения в состоянии здоровья и соответствующие превышения в загрязнении хотя бы двух из трех сред, например, почвы и атмосферы.

Основная цель программ – реабилитация здоровья населения. Но разрабатываются они на экологических принципах, т. е. на нейтрализации в первую очередь приоритетных загрязнителей – загрязнителей, имеющих наибольшие концентрации в относительных единицах и наибольшие ареалы загрязнения. Но совершенно необязательно, что медико-экологические приоритеты будут такие же.

Здесь трудно что-либо изменить, и мы вынуждены разрабатывать программы по правилам Минприроды, хотя и видим их слабые стороны. Правда, для г. Каменска-Уральского удалось обосновать статус, не включая радиационный фактор в число определяющих.

Кстати, впервые в стране работа такого масштаба и комплексности проводилась в 1990–1992 гг. для Первоуральско-Ревдинского промышленного района. Именно здесь апробировались и разрабатывались идеи методологии комплексного анализа.

Другие основные проблемы, над которыми работает Институт

Радиационные риски

Оценка радиационного воздействия на население региона от различных источников, а также обусловленных ими радиационных рисков и является основной задачей радиационной лаборатории.

Оценка облучения населения Свердловской области за счет радона и его дочерних продуктов потребовала проведения измерений как объемной активности ^{222}Rn либо его дочерних продуктов распада, так и измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) ^{220}Rn (торона). Обследования уровней накопления радона были проведены в 10 районах и 5 городах Свердловской области. В программу обследований вошли 80 населенных пунктов. В тех населенных пунктах, в которых проводились измерения, проживает около 2 млн человек, или 43 % населения Свердловской области. Обследовались сельские дома, городские квартиры и детские учреждения.

Распределение значений ЭРОА радона и торона подчиняется логнормальному закону. Известный вид распределения и его параметры позволяют прогнозировать долю помещений, в которых ЭРОА радона превысит определенные референсные уровни. В качестве референсных в данном представлении выбраны величины 100 и 200 Бк/м³ ЭРОА радона, 10 и 20 Бк/м³ ЭРОА торона.

Уровни накопления радона в помещениях, наряду с типом здания, определяются такими важными факторами, как георадиохимические и геолого-геофизические характеристики территории. Поэтому полученные данные по величинам ЭРОА радона в воздухе помещений были разделены в соответствии с комплексом таких признаков.

Оценка природных и техногенных рисков для населения, экономики и окружающей среды Свердловской области

В результате комплексной оценки природных и техногенных рисков для населения, экономики и окружающей среды Свердловской области на основании информации о существующих в области источниках опасности природного характера, опасных видах промышленной деятельности, угрозах экологической и экономической безопасности количественно оценены различные составляющие природного, техногенного и экологического риска. Количественно оценен индивидуальный, коллективный и экономический риск, обусловленный следующими видами опасности: опасные гидрологические ситуации, опасные метеорологические ситуации, лесные пожары, инфекционные заболевания, аварии на химически опасных объектах, аварии на взрыво- и пожароопасных объектах, аварии на магистральных трубопроводах, аварии на транспорте (железнодорожный, автомобильный, авиационный), рак в результате химического загрязнения окружающей среды (атмосферного воздуха и питьевой воды), рак в результате облучения продуктами распада радона, ущерб окружающей среде в результате чрезвычайных ситуаций. Осуществлено ранжирование рисков различной природы и проведено районирование территории области

по уровням природного и техногенного риска. Для Свердловской области подобная комплексная работа выполнена впервые.

В Институте сформировалось и получило развитие новое для УрО РАН направление, связанное с комплексным изучением последствий деятельности предприятий атомной промышленности и энергетики. В Институте успешно выполнена работа по оценке воздействия на окружающую среду проекта строительства III очереди Белоярской АЭС с реактором БН-800. Это был первый в стране проект строительства нового блока АЭС, по которому получено положительное заключение Минэкологии. Институт принимал участие в работах по экологическому обоснованию возможности строительства Южно-Уральской АЭС. Выполнена оценка воздействия на окружающую среду ряда тепловых станций, в частности, Чайковской.

Оценка воздействия на окружающую среду и экологическое прогнозирование

Решением этих проблем в основном занимается лаборатория экологического прогнозирования. Основное направление ее деятельности – разработка научно-методического обеспечения экологического мониторинга, оценки и управления воздействием на окружающую среду объектов повышенного экологического риска, в частности, предприятий горно-металлургического комплекса.

В лаборатории разработана комплексная методика, позволяющая успешно решать вопросы обеспечения экологической безопасности хозяйственной деятельности на всех этапах инвестиционного процесса.

Методика базируется на всестороннем анализе факторов воздействия горного предприятия на окружающую среду и результатов комплексных натуральных экспериментов и включает в себя три взаимосвязанных блока исследований:

- оценку воздействия на окружающую среду на стадии разработки предпроектной и проектной документации на строительство или реконструкцию предприятия;
- разработку и реализацию системы экологического мониторинга зоны влияния предприятия;
- разработку системы мероприятий по уменьшению первичных и отдаленных экологических и социально-экономических последствий деятельности предприятий.

Основные методические подходы разработаны и опробованы при выполнении экологического обоснования по проекту вскрытия и разработки Сафьяновского медно-рудного месторождения в Режевском районе Свердловской области в 1993 – 1994 гг.

Впервые в Уральском регионе выполнена оценка воздействия на окружающую среду по проекту до начала его реализации, что позволило на стадии проектирования предусмотреть необходимые меры и технические решения для уменьшения возможных отрицательных экологических и социально-экологических последствий.

Разработанная методика была реализована и на других крупных горно-металлургических предприятиях Урала, в частности, Высокогорском горно-обогатительном комбинате (г. Нижний Тагил), Гайском горно-обогатительном комбинате (г. Гай Оренбургской области) и др.

Заключение

Урал продолжает оставаться одним из самых экологически неблагополучных регионов России. Решение его экологических проблем только за счет проведения мероприятий компенсационного типа на сегодня невозможно ни технологически, ни экономически. Решать проблему необходимо комплексно, согласуясь с экономическими, социальными и природно-экологическими реалиями одновременно. Только на основе системного анализа всей совокупности действующих факторов самой различной природы – от физико-химической до социальной и комплексной оценки последствий – возможно определение зависимости между масштабами и уровнями загрязнения окружающей среды и масштабами последствий для территории (здоровья населения, социальной среды, экономики и т. д.) и установление экологических приоритетов с последующей разработкой программы реабилитационных мер.