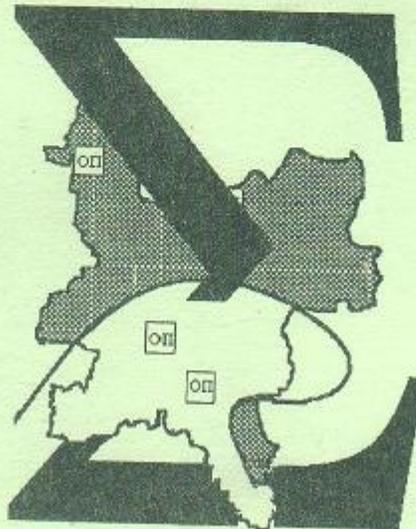


В. М. Сюткин

Экологический мониторинг административного региона

(концепция, методы, практика
на примере Кировской области)



Кировский областной государственный комитет по охране природы
Вятский государственный педагогический университет

В. М. Сюткин

Экологический мониторинг административного региона

(концепция, методы, практика на примере Кировской области)

Киров 1999г.

ББК 20.1
С98

УДК 577.4:504.062:502.3

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Флегентов И.В., доктор технических наук, профессор;
Кузьмин В.А., доктор технических наук, профессор.
Трушков В.Ф., доктор медицинских наук, профессор

Печатается по решению редакционно-издательского совета Вятского государственного педагогического университета

Сюткин В. М

С98 Экологический мониторинг административного региона (концепция, методы, практика на примере Кировской области). – Киров.: ВГПУ, 1999. – 232с.

Рассмотрены основные принципы системы комплексного экологического мониторинга административного региона. Изложена концепция мониторинга и предложены методические подходы для его параметрической и хронологической организации на региональном и локальном уровнях. Проведено районирование административного региона в задачах РГСЭМ. На основе анализа природных условий и факторов воздействий проведено районирование Кировской области и разработана система информативных признаков, что заложено в основу региональной программы экологического мониторинга. Описан опыт первого этапа ее реализации – организация полигонов регионального фона и импактных зон. Рассмотрены различные аспекты регионального мониторинга: контроль выпадений тяжелых металлов, территориально-параметрическая организация наблюдений на селитебных территориях, общественные формы мониторинга. В параметрическом аспекте упор сделан на интегрирующие оценки, особенно на биодиагностику.

Для научных работников и специалистов в области природопользования, мониторинга и охраны окружающей среды, а также работников административных органов.

ISBN 5-900 185-56-7

© Вятский государственный педагогический университет (ВГПУ), 1999
© В.М.Сюткин, 1999

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Основные принципы организации РГСЭМ	8
1.2. Принципы организации РГСЭМ	12
1.3. Банк экологических данных РГСЭМ	18
1.3.1. Материалы космических наблюдений в ресурсах РГСЭМ	19
1.3.2. Конференции сети РГСЭМ	23
1.4. Аналитические ресурсы сети РГСЭМ	24
1.4.1. Оценка состояния окружающей среды	25
1.4.2. Обеспечение наглядности поддержки решений ЛПР	26
1.4.3. Формирование прогноза состояния территории	28
1.4.4. Выработки рекомендаций по оптимизации природопользования	32
Глава 2. Методические подходы в задаче пространственно-параметрической организации РГСЭМ	42
2.1. Задача параметрической организации РГСЭМ	43
2.1.1. Модели описания территорий и отбор показателей	44
2.1.2. Формирование комплексных оценок	45
2.2. Районирование региона в задачах РГСЭМ	48
2.2.1. Формальные подходы к типизации территорий региона	49
2.2.2. Районирование территорий в пространстве экологических связей	55
2.2.3. Веса факторов в экологическом районировании	57
2.3. Методические вопросы классификации территорий	58
Глава 3. Районирование административного региона в задачах РГСЭМ ..	65
3.1. Сети мониторинга в Кировской области	65
3.1.1. Почвенный мониторинг региона	68
3.1.2. Мониторинг состояния атмосферного воздуха	70
3.1.3. Мониторинг состояния воды и водных ресурсов	71
3.1.4. Мониторинг состояния недр Кировской области	72
3.1.5. Мониторинг биоты	73
3.1.6. Социально-гигиенический мониторинг	74
3.2. Основные типологические модели региона	75
3.3. Районирование региона по данным сетей мониторинга	80
3.3.1. Использование ТерКСОП для эколого-хозяйственного районирования	80
3.3.2. Показатели природных условий региона	85
3.3.3. Показатели антропогенного воздействия	87
3.3.4. Типология ландшафтных комплексов региона	89
3.3.5. Зонирование по антропогенной трансформации фитоценозов	91
3.3.6. Геоботаническая типизация территории	91
3.3.7. Типология территориальной структуры ресурсов	94
3.3.8. Типология социальной среды области	94
3.4. Выбор местоположений полигонов регионального фона	95

3.4.1. Влияние лимитирующих факторов климата на фитоценозы	97
3.4.2. Базовая модель районирования РГСЭМ	98
Глава 4. Информативные показатели сетевых ресурсов РГСЭМ	101
4.1. Хозяйственная деятельность и состояние окружающей среды	101
4.1.1. Гигиеническое состояние среды	101
4.1.2. Воздействие на поверхностные воды	102
4.1.3. Воздействие на ландшафтные комплексы	104
4.2. Факторы воздействий на фитоценозы	105
4.2.1 Влияние факторов среды на природные ландшафты	105
4.2.2. Влияние факторов среды на запасы дикорастущих ягод	107
4.2.3. Влияние факторов среды на биологические ресурсы грибов	108
4.2.3. Влияние факторов среды на растительные ресурсы	109
4.3. Орнитологические маркеры факторов окружающей среды	110
4.3.1. Комплексные оценки встречаемости редких птиц	111
4.3.2. Модели численности скворца как вида-индикатора	111
4.3.3. Модели встречаемости переменных видов птиц	113
4.3.3.1 . Оценка 17 переменных видов орнитофауны	113
4.3.3.2 . Оценка 16 переменных видов орнитофауны	115
4.3.3.3. Орнитологические индикаторы фитоценозов	117
4.4. Интегральное районирование по орнитологическим данным	119
4.5. Индикаторы ресурсов животного мира	121
4.5.1 Маркеры оценки ресурсов промысловых животных	121
4.5.2 . Численность бурундука как вида-индикатора	124
4.6. Оценка социального здоровья на территориях региона	125
4.6.1. Показатели демографической ситуации	126
4.6.2. Формирование оценок здоровья населения	127
4.6.3. Обобщенные факторы-мониторы РГСЭМ	128
4.7. Конверсия показателей в другие типологии	129
4.7.1. Показатели природных процессов	129
4.7.2. Районирование по антропогенному воздействию	130
4.8. Список приоритетных показателей систем наблюдений	132
Глава 5. Вопросы регионального мониторинга выпадений тяжелых металлов	135
5.1. Геохимическая типизация почв территорий региона	136
5.2. Элементы в почвах в типологии агроэкомониторинга	137
5.3. Зоны аэрогенных выпадений элементов на лесные мхи	139
5.3.1. Результаты экспедиционных работ в Кировской области	139
5.3.2. Терригенный аспект содержания микроэлементов во мхах	142
5.3.3. Зонирование региона по выпадениям на мхи	143
5.3.4. Комплексная оценка выпадений на мхи тяжелых металлов	145
5.3.5. Биоаккумуляция следовых элементов в хвое сосны	145
5.3.6. Комплексные оценки-маркеры для зонирования региона	146
5.4. Контроль выпадений тяжелых металлов в задачах РГСЭМ.....	147

Глава 6. Общественные формы мониторинга региона	154
6.1. Научные и образовательные учреждения в системе РГСЭМ	154
6.2. Мониторинг уровня репродуктивного здоровья женщин	157
6.3. Организация общественного мониторинга	162
6.3. Подсистема мониторинга через систему образования	168
6.4. Показатели для школьного мониторинга	168
6.4.1. Лихенологические показатели для школьного мониторинга	170
6.4.2. Фенотипические показатели для школьного мониторинга	175
Глава 7. Задачи РГСЭМ на локальном уровне	177
7.1. Экологическая оценка ландшафтов на полигонах РГСЭМ	180
7.2. Методы наземных исследований	183
7.3. Проведение исследований на территории полигона	186
7.4. Документирование данных мониторинга на территории ОП	191
7.5. Зонирование территорий на импактном уровне	192
7.6. Опорные полигоны РГСЭМ. Обследование природных условий	195
7.6.1. Опорный полигон «Нургуш»	197
7.6.2. Опорный полигон «Былина»	198
Глава 8. Мониторинг пространственно - устойчивых зон загрязнения селитебной территории	197
8.1. Стационарные общегородские зоны загрязнения атмосферы	197
8.1.1. Лихенодиагностика зон территории города	198
8.1.2. Зонирование урбозкосистем по содержанию тяжелых металлов	199
8.1.3. Фенодиагностика городской территории	202
8.1.4. Диагностика зон города по аллергическим патологиям	204
8.1.5. Зоны аэрогенной нагрузки по показателям загрязнения снега	206
8.2. Верификация маркеров в численных моделях	206
Заключение	216
Список литературы	223

ВВЕДЕНИЕ

Насущные экономические интересы страны требуют оптимального проведения хозяйственной политики. На современном этапе происходит смещение в управлении природопользованием и в области природоохраны от центра в сторону административных регионов. Это подразумевает ведение хозяйства субъектами Российской Федерации с учетом, с одной стороны, экологических приоритетов, а с другой минимизации материальных затрат. То и другое, в свою очередь, требуют информационной поддержки управленческих решений организации систем наблюдений, контроля, оценки и прогноза состояния экономики, социума и окружающей среды на территории региона.

На территории каждого административного региона проводятся режимные наблюдения по типовым ведомственным программам, но эти работы не

имеют системного характера: территориального, по типологии и сетям наблюдений, параметрического, соотносящего показатели, хронологического, метрологического, информационного и в других аспектах. Отсутствие единой системы наблюдений ведомств не позволяет верно оценить экологическое состояние территорий для принятия оптимальных управленческих решений в хозяйственной деятельности, что, в конечном итоге, обходится дорого, и для региона получение достоверной информации составляет прямую экономическую необходимость. В рамках Единой государственной системы экомониторинга (ЕГСЭМ) предусмотрены региональные подсистемы (РГСЭМ) для информационно-аналитической поддержки управления на региональном и локальном уровнях. Поскольку технические средства мониторинга достаточно дороги, то в каждом регионе наиболее актуален вопрос о минимизации издержек при развертывания самой РГСЭМ как системы. Это обуславливает необходимость максимального использования сетей наблюдений ведомств, их интеграцию в единую среду для выработки оценок, прогнозов, рекомендаций.

Современные тенденции направлены в сторону интеграции знаний, появления информационного пространства в виде сетевых сред общения, распределенных баз данных и компьютерных технологий их обработки, а также экспертных систем. Очевидно, что в будущем сетевые среды, интегрируя информационные ресурсы, охватят банки данных всех организаций, в том числе, природопользования и природоохраны, а также управленческие структуры. Подобная сеть станет естественной средой общения в плане не только обмена данными, но и проведения оценок состояния территорий и прогнозов развития, прецедентов задач и их решений, альтернатив выбора управленческих решений и их критериев т.е., по сути дела, будет выполнять комплекс функций мониторинга.

Таким образом, разработка мониторинга как информационной структуры, интегрирующей банки данных ведомств, для поддержки регионального управления, оправдана и экономически, и в плане учета современных тенденций. Отметим, что по оценкам разработчиков программных средств IBM, лишь менее 10% корпоративных данных вообще когда либо подвергается анализу (*Computer wordl /Global Innovators/ 19. 01.1999. p 5.*). Поэтому сейчас обозначилась четкая тенденция в организации "интеллектуальной поддержки" информационного обеспечения деятельности построение хранилищ данных, с их многомерным анализом и поиском скрытых закономерностей в базах данных и файлах. Она непременно проявится и в сети информационных ресурсов ведомств региона, что делает актуальным на этапе организации РГСЭМ поиск закономерностей в системах статистических показателей, выделения факторов и оценки их весов, установления номенклатуры признаков – мониторов РГСЭМ.

Наиболее дорогостоящий аспект при организации мониторинга – его пространственно-параметрическая организация РГСЭМ. Эта сторона в наибольшей мере отражает региональную специфику природных условий и хозяйства, делая актуальным создание в каждом субъекте федерации, во-первых, рабочих типологий РГСЭМ по данным, отслеживаемым ведомственными сетями наблюдений, а

во-вторых, систем показателей-мониторов, маркеров экологической ситуации, с проверкой достаточности системы признаков в моделях обусловленности факторами среды индикаторов социального здоровья или состояния экосистем, что, в итоге, позволит минимизировать затраты на мониторинг. Не стоит доказывать факт необходимости синтетического знания для ЛПР и экспертов, лежащего в основе самой природы их подхода. Даже при принятии решений по частным вопросам, необходимо ориентироваться в общей картине, требуя поиска структуры данных, снижения размерности, формирования комплексных оценок, "дисплеизации" формы представления знаний и т.д. Поэтому задачи РГСЭМ требуют не только постоянно актуализируемых баз данных, но и их системную обработку в процедурах аналитического и экспертного "свертывания" информации.

Пространственно-параметрическая организация РГСЭМ, касается и мониторинга широкомасштабных очагов загрязнения - типизация территорий региона и формирование систем маркеров аэрогенного воздействия. Приоритет здесь принадлежит кислотным дождям и выпадениям тяжелых металлов. Для последних необходимо геохимическое районирование региона по их содержанию в почвах, а также в биологических депонирующих средах.

Каждому региону России в процессе природопользования приходится сталкиваться с типичными экологическими проблемами, возникающими в результате хозяйственной деятельности человека, в том числе, городских агломераций, использования природных ресурсов, химического загрязнения и др. Так в каждом регионе обычно наиболее экострессорны промышленные центры и селитебные территории, для организации мониторинга которых требуется определение систем интегральных оценок воздействий на атмосферу и проведение зонирования территорий по уровням воздействия. Наиболее актуален вопрос о номенклатуре информативных показателей контроля загрязнения атмосферы селитебных территорий, из числа отслеживаемых государственными службами, и не требующими дополнительных материальных затрат на мониторинг. Необходим набор показателей, с несколькими градациями шкалы индикаторного отклика в оценке экологической ситуации, и с биомаркерами, описывающими независимые реакции компонентов биоты при действии экзогенных факторов. Установление номенклатуры признаков – мониторов РГСЭМ возможно на основе всестороннего анализа окружающей среды городов, проведения численного моделирования для определения соотношения ролей в формировании зон загрязнения стационарных источников и автотранспорта. В данной работе обсуждаются результаты исследований территории г.Кирова по частотам вызовов "Скорой помощи" (аллергические патологии), данным лихенодиагностики, аккумуляции тяжелых металлов в листьях растений, фенотипическим исследованиям, показателям загрязнения снега. Кроме того, представлен опыт проведения верификации показателей в моделях "отклик биоты - факторы среды", выделения экологически напряженных территорий в городе, в том числе, очагов, интерпретируемых ролью автотранспорта и стационарных источников поллютантов, где необходимо расположить площадки наблюдения.

Наряду с типичными в регионах имеются и специфические экологические проблемы, такие как, хранение и уничтожение отравляющих веществ (ОВ). Вопросы районирования экострессорных зон и выбор мониторов воздействий, а также маркеры мониторинга продуктов трансформации ОВ актуальны для ряда регионов, где производились, хранились и уничтожались ОВ. Без дополнительных исследований нельзя выявить роль многолетнего воздействия складов ОВ, получить прогноз состояния природных сред, биоты и здоровья человека, определить альтернативы проектных решений в ресурсосбережении и природоохране при их уничтожении.

Обозначенный круг вопросов и определил цель настоящей работы – нахождение системы информативных показателей и разработки типологических моделей для территориальной организации комплексного мониторинга конкретного региона России Кировской области. Для ее достижения была выдвинута концепция РГСЭМ, как информационной сетевой среды ведомственных служб мониторинга, учитывающая региональную специфику. На основе анализа ведомственной информации и результатов экспедиционных работ были разработаны модели районирования области для территориальной организации мониторинга и определены системы информативных показателей регионального уровня РГСЭМ. Кроме того, обобщены результаты проведенного комплекса полевых работ и камеральной обработки материалов в техногенных и селитебных зонах области выполнено зонирование территории и определены показатели маркеры экологической ситуации на локальном уровне мониторинга.

В настоящей работе изложены основные подходы в разработке региональной комплексной системы наблюдений и анализа состояния окружающей среды, на основе которых в разработана Программа экологического мониторинга Кировской области, внедряемая в с 1997 г. Проведены комплексные экспедиции по организации Нургушского и Кайского опорных полигонов на фоновых территориях региона, а также в зоне складов химического оружия. Заложены десятки ключевых участков мониторинга – произведено их геоботаническое и почвоведческое описание, взяты пробы почв и растительности, проведена биодиагностика природных сред. Проведено многостороннее изучение экологической обстановки г.Кирова – осуществлено экологическое районирование его территории, определена номенклатура показателей для мониторинга. Опыт Кировской области как в концептуальном плане, так и в методических подходах по организации РГСЭМ может представлять интерес и для других регионов страны.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РГСЭМ

В зависимости от методов и объектов наблюдения каждый из видов мониторинга – гео(эко)системный, геофизический, геологический, биологический, аэрокосмический и др., проводится соответствующими ведомственными службами. Поэтому программы проведения мониторинга, его хронологическая, хронологическая организация, вид и форма представления "выходных данных" цели-

ком определяются целями ведомств. Поскольку последние не ориентированы на комплексную оценку окружающей среды и информационную поддержку управленческих структур, был принят нормативный правовой акт - постановление Совета Министров – Правительства РФ № 1229. от 24 ноября 1993 г по созданию Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ). Дополнительно, в рамках межгосударственной системы экологического мониторинга подготовлено и одобрено государствами СНГ - членами Межгосударственного экологического совета (МЭС) “Соглашение о сотрудничестве в области экологического мониторинга”. Комплекс ЕГСЭМ – это располагающая собственными правилами процедуры и управления система экологического мониторинга, обеспечивающая информационную поддержку управления экологической обстановкой на территории России и использующая необходимые для этого данные, получаемые ведомственными системами (службами, сетями), осуществляющими мониторинг отдельных объектов.

В сфере формирования ЕГСЭМ разработаны нормативные документы; в 48 субъектах Российской Федерации развернуты работы по созданию территориальных подсистем ЕГСЭМ (1-го этапа). Каждая региональная подсистема (РГСЭМ) является составной частью ЕГСЭМ, располагает собственными органами управления, функционируя на территории субъекта Российской Федерации и создается для осуществления информационной поддержки управления экологической обстановкой, обеспечивающей повышение эффективности мероприятий по охране природы. В основополагающем документе, разработанном Госкомприроды РФ "Требованиях к территориальной подсистеме ЕГСЭМ" [1], основными целями создания РГСЭМ провозглашаются: информационное обеспечение управления экологической обстановкой; информационная поддержка процедур экологического нормирования и контроль выполнения экологических нормативов; обеспечение населения и заинтересованных организаций информацией (текущей и экстренной) об экологической обстановке и прогнозами ее изменения; наблюдение за экологической обстановкой; оценка, выявление динамики и прогнозирование экологической обстановки.

В процессе функционирования РГСЭМ решает задачи:

- обеспечения информационной поддержки приоритетных для территории конкретных задач управления экологической обстановкой, определяемых территориальными и федеральными программами, международными обязательствами Российской Федерации;

- реализации научно-технической политики ЕГСЭМ в области обеспечения информационной поддержки управления экологической обстановкой;

- получения, обработки и обобщения информации об экологической обстановке, включая оценку показателей функциональной целостности экосистем и экологических условий обитания человека, выявление причин и масштабов изменения этих показателей в результате антропогенной деятельности, оценку экологической угрозы здоровью человека и живой природе;

- хранения информации об экологической обстановке; определения возможных корректирующих мер, направленных на стабилизацию и улучшение экологической обстановки, уменьшение негативных последствий антропогенных воздействий на нее;

- обеспечения граждан и организаций информацией об экологической обстановке в соответствии с Законом Российской Федерации "Об охране окружающей природной среды";

- развития РГСЭМ, включая совершенствование всех видов обеспечения ее функционирования;

- обеспечения эффективного информационного сопряжения РГСЭМ с другими государственными информационными системами.

В табл.1.1 по данным [2, 3] приведен обзор состояния организации РГСЭМ в регионах России (без учета частных систем мониторинга). Можно отметить регионы, где объединенными усилиями различных ведомств достигнуты значительные успехи в создании РГСЭМ. Это республики Башкортостан, Мордовия, Татарстан, Чувашия, Карелия; области - Вологодская, Калужская, Оренбургская и Курганская. В значительной части регионов России приняты законодательные акты о статусе РГСЭМ, в ряде из них мониторинг носит комплексный характер, интегрирующий ведомственные сети (Пермская, Калужская, Оренбургская и Курганская области, Башкортостан и Чувашия).

Более чем в 40 регионах (на 1996г.) созданы и функционируют РИАЦ, оснащаемые ГИС-технологиями обработки данных, проводится оцифровка местности для электронных карт. В ряде субъектов РФ введены в эксплуатацию системы оперативного приема информации со спутников, или ее абонентное получение (Пермская, Иркутская, Оренбургская и Курганская области, Ямало-Ненецкий автономный округ).

Отмечая большой объем работ, проведенных по созданию ЕГСЭМ, к основным недостаткам следует отнести несовершенство нормативной правовой базы и отсутствие межведомственного Федерального информационно-аналитического центра экологического мониторинга. Трудности финансирования и отсутствие научных наработок затрагивают развертывание РГСЭМ в инвестиционно- и наукоемких аспектах: организации специализированных НИИ, экологических лабораторий, создании автоматизированных систем обработки информации и комплексной оценки региона; оценок экологической обстановки региона, создания кадастров природных ресурсов. Можно отметить и малое число разработанных региональных программ РГСЭМ.

Практически отсутствуют работы по организации опорных полигонов и реперных участков регионального фона (кроме Чувашии, Калужской, Вологодской, Кировской областей). Последнее обстоятельство требует разработки методических подходов и проведения всесторонних исследований территорий каждого региона, в том числе, анализа банков данных организаций, нахождения структур в базах данных, выявления систем "информативных показателей", учитывающих региональную специфику и могущих служить мониторами

Таблица 1.1

Показатели организации региональных систем мониторинга

Регионы	Состояние организации РГСЭМ															
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	П	Р
Башкортостан	+	+	+	+	+	+		+			П		+		+	
Мордовия				+			+								+	+
Саха (Якутия)				+											+	
Татарстан	+				+						П				+	+
Чувашия								+	2	10	*				+	
Карелия										*		Б			+	+
Ямало-Ненец. АО			+	+												
г. Москва	+	+													+	
Амурская обл.				+							П				+	
Вологодская						+				10	П	+			+	+
Иркутская		+	+		+						*	Б			+	
Калужская	+	+		+			Б			10	П			+	+	+
Нижегородская	+	+		+								+			+	
Оренбургская		+	+	+											+	+
Пермская	+	+	+	+		+	+				*		+		+	
Свердловская		+		+											+	+
Тюменская		+									*				+	
Курская		+									П				+	
Курганская		+		+							*					+
Омская		+		+												
Тульская		+													+	+
Кировская				+			+	+	2	29	П					

А - создание первой очереди городских систем экологического мониторинга, в том числе автоматизированных станций контроля;

Б - создание регионального информационно-аналитического центра (РИАЦ);

В – ввод в эксплуатацию системы оперативного приема информации со спутников NOAA (США), Ресурс 01(Россия) или абонементное получение данных космосьемки;

Г – проводится оцифровка региона, создание электронных карт и ГИС;

Д – создание автоматизированных систем обработки информации;

Е – создание информационной системы для комплексной оценки региона;

Ж – выполнены оценки экологической обстановки региона, в том числе биодиагностические (Б), создан экологический атлас, создана система экологических ограничений;

З – выполнены оценки экологической обстановки городов (города);
И – Организация полигонов режимного контроля (и их количество);
К – организация реперных участков РГСЭМ (количество);
Л – разработка Положения () или Программы РГСЭМ (П)*
М – создание гидрологических и гидрохимических постов наблюдений, в том числе биомониторинга водоемов (Б);
Н – организация специализированного НИИ, экологической лаборатории
О – организация работ по созданию Кадастра природных ресурсов;
П – Принятие регионального закона, постановления о РГСЭМ;
Р- Начало создания системы комплексного мониторинга.

Данный комплекс исследований необходим в каждом регионе для выполнения интегрального эколого-хозяйственного районирования. Установление структурно-однородных территорий региона позволит организовать ОП регионального фона, реперные участки контроля импактных и буферных зон.

1.2. Принципы организации РГСЭМ

В соответствии с требованиями к территориальной подсистеме ЕГСЭМ [1] для реализации стоящих перед ней задач должны быть: установлен правовой статус ее создания и функционирования СЭМ; создана организационная структура, обеспечивающая функционирование РГСЭМ и ее подразделения, выполняющие практические работы; сформирован приоритетный перечень задач управления экологической обстановкой, решение которых обеспечивает РГСЭМ; созданы информационные связи внутри РГСЭМ, распределен порядок установления информационных связей между ней и ее абонентами; создано организационное, правовое, нормативное, научное, методическое, информационное, программно-математическое, аппаратно-техническое, метрологическое, финансовое, материально-техническое обеспечение ее функционирования и созданы условия для совершенствования всех видов обеспечения функционирования РГСЭМ. Территориальная подсистема быть информационно открытой системой, способной к расширению номенклатуры выполняемых работ и круга их исполнителей. РГСЭМ должна функционировать на основе правил и процедур, установленных для ЕГСЭМ в целом, развиваемых и уточняемых с учетом специфики территории и структуры управления экологической обстановкой.

При организации РГСЭМ требуется учет следующих аспектов: территориального, в основу которого положен набор рабочих типологий территории региона и алгоритмы их конверсии; параметрического, предлагающего систему отслеживаемых всеми службами мониторинга показателей (мониторов); хронологического, устанавливающего периодичность контроля по каждому из мониторов; информационного ресурсообмена, обуславливающего сопряжение сетевых баз данных подсистем мониторинга, их обработку, управление и безопасность; аналитического, подготавливающего выходную информацию РГСЭМ - оценки,

прогнозов, критерии альтернатив выбора управленческих решений; метрологического обеспечения выходной информации РГСЭМ.

Данная концепция РГСЭМ базируется на минимизации стоимости технических средств мониторинга, организуемого не за счет вновь развертываемых средств наблюдений, а на базе максимального использования информационных ресурсов ведомственных систем контроля, интегрированных в единую сеть. Поэтому, координация функций всех органов в сфере природопользования и охраны окружающей среды должна осуществляться через централизованное объединение банков данных организаций, включающее: информационное обеспечение природоохранных служб региона, оперативное использование баз данных для оценок ситуаций, принятия управленческих решений, предоставление исходных данных для прикладных задач природопользования и нормирования воздействий. В области природопользования и природоохраны практическое воплощение данного опыта находится еще в стадии разработки.

Основные положения РГСЭМ

1. РГСЭМ представляет систему, объединяющую организации, имеющие сети мониторинга и генерирующие информационные ресурсы, предприятия-природопользователи, вне зависимости от формы собственности, а также органы управления – региональные, муниципальные и местные власти.

2. РГСЭМ функционирует как интегрированная среда сетевых информационных ресурсов: баз данных систем ведомственных сетей наблюдений за природными условиями, природными ресурсами, здоровьем населения, антропогенными факторами воздействия; баз знаний (оценок и прогнозов состояний территорий, прецедентов задач и вариантов их решений); вычислительных средств и программного обеспечения.

3. Назначение РГСЭМ состоит в информационном обеспечении и научной поддержке органов управления – региональных, муниципальных и местных властей, в региональной политике природопользования.

4. Целью РГСЭМ является формирование рекомендаций для лиц, принимающих решения (ЛПР) - научное обоснование критериев альтернатив выбора решений в стратегии хозяйствования и охране природной среды.

5. В рамках РГСЭМ обеспечивается сбор, анализ и передача в сеть экологической информации по следующим задачам: разработка программ и проведение наблюдений за состоянием окружающей природной среды, обработка данных ведомств, аккредитованных в РГСЭМ, организация распределенной сетевой базы данных, ведение специальных банков данных, характеризующих экологическую обстановку на территории области; информационная поддержка экологического нормирования; обеспечение доступности экологической информации широкому кругу потребителей, включая население и общественные организации; обеспечение метрологической поддержки выходной информации.

6. РГСЭМ является подсистемой ЕГСЭМ, с правовым статусом, в соответствии с требованиями к территориальным подсистемам.

7. РГСЭМ интегрирует в единый комплекс информационно-аналитические ресурсы данные служб ведомственных наблюдений региона – в разрезе шести подсистем наблюдений, а также путем создания конференций – динамической среды ресурсообмена для решения оперативных вопросов.

8. Создается интегрированная среда сетевых ресурсов по подсистемам наблюдений РГСЭМ: мониторинга биоты, импактного мониторинга источников, объектов техногенного воздействия; социально-гигиенического мониторинга; социально-экономического; гидрометеорологического мониторинга; мониторинга природных ресурсов. Последний включает: мониторинг земельных, лесных, водных ресурсов и геологической среды. Типология территорий, параметры наблюдений и периодичность определяются стандартами ведомственных служб. РГСЭМ определяется список приоритетных показателей, а также территорий региона, по которым проводится актуализация банков данных РГСЭМ и периодичность.

9. Для обеспечения ресурсообмена во всех секторах электронной информации организуется региональная информационная сеть РГСЭМ. В сети проводятся конференции: обмена информационными ресурсами и сетевых экспертиз для анализа альтернатив выбора решений по конкретной проблеме.

10. По конкретным проектам в регионе создаются сетевые конференции (подсистемы РГСЭМ). На них обсуждаются и вырабатываются "Приоритетные экологические планы мониторинга", его цели и задачи, разрабатывается программа и механизмы реализации мониторинга (исполнители, протоколы исследований, координация, обучение и пр.). Проводятся исследования, устанавливаются принципы хронологической, параметрической и хронологической организации системы контроля.

11. Для оценки и прогноза изменений в состоянии экосистем и природных ресурсов под действием экзогенных факторов на территории региона создаются опорные полигоны (ОП). Фоновые показатели в каждом эколого-географическом таксоне территории региона контролируются на одном-двух ОП.

12. На импактных территориях организуются полигоны экологического и санитарного контроля интенсивности и границ зон воздействия.

13. Банк данных РГСЭМ формируется за счет следующих основных источников сетевых информационных ресурсов:

- сетей наблюдений организаций, обеспечивающих слежение по ведомственным программам и объектам контроля;
- материалов космической фотосъемки территорий;
- сети полигонов регионального фона и импактных зон.

На организационном этапе РГСЭМ ежегодные работы на полигонах, анализ и оценку состояния территорий регионального фона и импактных зон осуществляют временные творческие коллективы.

14. Каждый оконечный терминал сети РГСЭМ (компьютер, сервер локальной сети) может работать в собственных, привычных форматах данных, аппаратно-программных средствах и ГИС. Системная интеграция и управление базами данных - прохождение, хранение и интеллектуальная обработка проводится региональным информационно-аналитическим центром комплексного мониторинга (РИАЦ) на базе территориального комитета по экологии.

15. В установленном порядке принимается Конвенция ведомств, аккредитованных в РГСЭМ - правовой документ, определяющий: правовые статусы данных, принципы сетевого обмена (уровни доступа организаций к базам данных/знаний); административно-правовые отношения между юридическими лицами - абонентами сети, стандарты сети и ресурсов. Сетевое администрирование информационного ресурсообмена проводится РИАЦ в соответствии с юрисдикцией Конвенции ведомств.

16. На региональном уровне РГСЭМ представляет объединенные в информационную сеть природоохранные и природоресурсные службы области, с децентрализацией части основных функций РИАЦ, рассредоточением по периферии системы рабочих баз данных, инструментария и баз знаний.

17. Структура РГСЭМ представляет систему из трех функциональных модулей и сети каналов (рис.1.1). Первые (информационный и аналитический модули) осуществляют последовательные этапы получения и анализа поступивших данных, а также создание констатационных, оценочных, прогнозных и конструктивных слоев в среде геоинформационной системы (ГИС). Модули могут быть сосредоточены в РИАЦ или распределены по рабочим станциям.

Цель работы информационной подсистемы - поддержка регионального банка данных, путем проведения информационного ресурсообмена ведомств - государственной статистической отчетности, кадастров природных ресурсов, материалов сетей систем мониторинга и др. Создаются базы данных по всем сетям наблюдений и констатационные карты на основе ГИС-технологий.

Цель аналитической подсистемы РГСЭМ - оценка качества окружающей среды и выдача предложений природопользователям, сравнение показателей с критериями, нормативами и фоном, выявление антропогенных факторов, осуществление прогноза изменений природной среды при реализации проектов и научное обоснование критериев выбора управленческих решений. Анализ экологических ситуаций на территориях осуществляется моделированием задач синтеза системы управления с формированием множества альтернатив обликов прогнозируемой территории (экосистемы), их сравнением и выбором.

Типология региона (и интерпретация данных с ОП) определяется эколого-географическим районированием территории. Дополнительно используются: типологии ландшафтных округов и районов, почвенно-географических округов, административное районирование, таксономия по бассейнам водосбора.

18. На региональном уровне РГСЭМ обобщение и анализ данных ведомственных наблюдений проводится аналитической службой РИАЦ на основе программных технологий, осуществляющих районирование территории региона в



Рис.1.1 Функциональная схема структуры РГСЭМ. Поступление информации: с сетей ведомств, с опорных полигонов, с сети МчСО, данные служб космического мониторинга, сетей ЕГСЭМ и InterNet, данные прочих абонентов.



Рис. 1.2 Структура связей абонентов РГСЭМ по каналам сети



Рис 1.3. Структурная схема ресурсов информационной сети РГСЭМ.

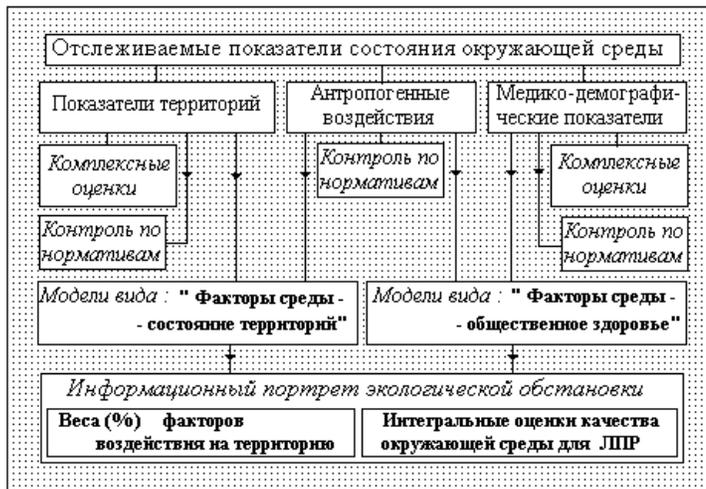


Рис 1.4 Функции аналитической подсистемы РГСЭМ на ступени оценок состояния окружающей природной среды

рамках конкретной задачи организации - пользователя сети. Преобразование данных осуществляется по двум направлениям:

- обработка данных ведомственных наблюдений (оценки качества среды, составление прогноза, выдача рекомендаций);
- оптимизация наблюдений (номенклатуры параметров, величины территории контроля, периодичности наблюдений, частоты актуализации данных и метрологическое обеспечение).

19. На локальном уровне РГСЭМ внедряются экспертные диагностические системы, с их объединением в сеть. Их администрирование проводится службой РИАЦ в конференции баз знаний абонентов РГСЭМ.

20. Для обеспечения контроля территорий на локальном уровне, учета показателей, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений, и получения оценок в разрезах разных типологий к сети РГСЭМ присоединяются системы дополнительного (общественного) экологического мониторинга, включающие:

- сеть научных учреждений и вузов, осуществляющих регулярные экологические, медицинские и социальные обследования региона. Они объединяются в системе РГСЭМ в соответствующих сетевых конференциях для обмена информационными ресурсами, а также осуществления консультационной, тьютерной и экспертно-аналитической поддержки РГСЭМ;

- сеть наблюдений системы общественного мониторинга, объединяющая добровольных наблюдателей. Сбор и анализ данных проводится в соответствии с природоохранными задачами муниципальной программы мониторинга;

- сеть биодиагностики природных сред и биоты через систему учреждений образования. Она организуется департаментом образования, совместно с комитетом по охране природы и при научной руководстве педагогического вуза региона. Сбор данных проводится по единой региональной программе.

22. Отчетность РГСЭМ базируется на экологической паспортизации территории. По мере создания государственных учетных кадастров природных ресурсов и биоты РГСЭМ осуществляет поддержку их актуализации.

Наличие разноуровневых задач регулирования окружающей среды определяет необходимость поддержки в каждом регионе соответствующих уровней мониторинга и его ГИС-обеспечения глобального (или федерального), регионального и локального (с выходом на детальный) уровней.

Механизмы реализации Программы РГСЭМ осуществляются через подпрограммы: организации опорных полигонов; мониторинга на неблагоприятных территориях; формирования банка данных региона; создания аналитической подсистемы РГСЭМ; мониторинга через систему образования.

1.3. Банк экологических данных РГСЭМ

Цель информационной подсистемы РГСЭМ, являющейся банком экологических данных региона, состоит в обеспечении ресурсообмена между сетями наблюдений (организациями). Информация должна поступать в сеть РГСЭМ, в

соответствии с уровнем доступа организации. Координация ресурсообмена сетей наблюдений, анализ информации и метрологическая поддержка системы проводится РИАЦ. В каждом регионе имеются десятки сетей наблюдений по различным видам мониторинга. Так, например, в Кировской области их свыше пятидесяти, которые представляют все шесть подсистем РГСЭМ.

На региональном уровне РГСЭМ представляет объединенные в информационную сеть природоохранные и природоресурсные службы области, РИАЦ и периферийную систему. В РИАЦ, осуществляющем координацию банков данных, сосредоточен комплекс программ, центральный банк данных/знаний и программы управления. Оконечными терминалами могут выступать отдельные рабочие станции и серверы локальных сетей ведомств, аккредитованных в РГСЭМ. Сетевые услуги - доски объявлений (BBS), и электронная почта. Сеть обеспечивает также метрологическую поддержку РГСЭМ и криптозащиту информации от несанкционированного доступа. В сеть РГСЭМ поступают данные ЕГСЭМ, информация ведомственных систем наблюдений, с опорных полигонов РГСЭМ, а также с системы космического мониторинга.

В задачи информационного блока входит:

- а) накопление баз данных сети РГСЭМ по всем системам наблюдений;
- б) преобразование данных в констатационные карты на основе ГИС;
- в) обмен информационными ресурсами между организациями и сетевое администрирование.

Важнейшим компонентом информационной системы телекоммуникации экологического мониторинга является ГИС, на основе которых проводится преобразование данных в констатационные карты. Оптимальной является реализация сетевой ГИС в виде ГИС-сервера, работающего в среде Internet и хранящего цифровую карту территории области. Отдельные фрагменты карты (территории ОП мониторинга, импактных зон, контролируемых природных объектов) берутся с топографических карт крупного масштаба и фотопланов. В самом крупном масштабе прорабатываются планы ключевых участков, топосъемка которых проводится во время экспедиций. Получаемая ведомствами информация может быть использовано всеми организациями, аккредитованными в РГСЭМ, в соответствии с их уровнем доступа. Нормативно-правовое обеспечение подпрограммы осуществляется законодательством региона по вопросам охраны окружающей природной среды.

1.3.1. Материалы космических наблюдений в ресурсах РГСЭМ

На современном этапе использование материалов дистанционного наблюдения должно являться неотъемлемым элементом экологического мониторинга на региональном уровне. Их применение обеспечивает изучение больших площадей и позволяет выявить экологические условия в их взаимосвязи [189]. Обзорность снимков позволяет определять те антропогенные изменения, которые ускользают от внимания при наземных исследованиях, что обеспечивает

возможность их контроля – проведение "картографического мониторинга" природной среды с помощью оперативных тематических карт, составляемых на базе материалов космической съемки.

Основная цель ландшафтной индикации для задач мониторинга - определение деципиентных компонентов (климата, литогенной основы) по физиономическим (рельефу и растительности). Ландшафтно - экологическая оценка территорий опорных полигонов и импактных зон должна осуществляется с помощью аэрокосмических наблюдений совместно с анализом ведомственных данных и материалам наземных научных исследований. По возможности использования дистанционных съемок для мониторинга их можно подразделить на четыре группы по различной оперативности получения информации[4]:

- сканерную (высокооперативную, но с низким разрешением);
- космосъемку (менее оперативную, но с более высоким разрешением);
- аэрофотосъемку (наиболее оперативную и детальную);
- специальную аэросъемку для получения дополнительной информации (тепловую, радарную и т.д. Отличается невысоким разрешением).

Как правило, наиболее информативными с точки зрения экологического мониторинга являются снимки, выполненные в зонах 460-740 нм или 600-700 нм и цветные синтезированные изображения, полученные по 2-4 зонам спектра. Так для распространенных индикаторных сообществ - сосновых биоценозов спектральные характеристики в фоновых и импактных условиях различны и поэтому можно применять простые спектральные индексы [5].

Разработчиками мониторинга биоты, лежащего в основе РГСЭМ Кировской области [6] подчеркивалась необходимость аэрокосмосъемки, проводимой раз в 5 лет для статических и динамических оценок:

а) уровня угнетенности фотосинтеза (и других показателей), и, соответственно, степени деградации сообществ, что соответствует уровню снижения продуктивности сообщества в целом;

б) скорости изменения площади подвергнутых антропогенному воздействию территорий на каждом водосборном бассейне (площади вырубок, вновь освоенных сельхозугодий, транспортных магистралей, отвалов, карьеров, хранилищ; территорий, подвергнувшихся эрозии, и т.д. и т.п.).

Считается, что наиболее эффективно сочетание аэрокосмосъемки природных комплексов обширных территорий, проводимой в различных зонах электромагнитного спектра ($\lambda = 380-1200$ нм), с программой наблюдений на стационарных пунктах и формированием банков данных на основе ГИС. Для всестороннего анализа экологических условий используются снимки, сделанные также в разное время и при разном масштабе.

Признаки дешифрования природных объектов имеют местные особенности (региональные, локальные, детальные), в зависимости от конкретного типа ландшафтов данной географической зоны. В лесной зоне предпочтительны летние снимки на длине волны $\lambda = 600-700$ нм; для исследований морфологии ландшафтов - $\lambda = 500-600$ нм, гидрографии - $\lambda = 700-800$ нм, исследований литологи-

ческих разностей - $\lambda = 520-560$ нм, для дешифровки растительного покрова - $\lambda = 660-720$ нм, почвенного покрова - $\lambda = 460-580$ нм и $600-700$ нм, влажности почвы - $\lambda = 700-740$ нм, засоленности - $\lambda = 460-580$ нм, механического состава - зона $520-560$ нм. [7]. Прямыми дешифровочными признаками являются: тон, контраст тонов соседних рисунков (для черно-белых снимков), цвет, его тональность (для цветных и спектрзональных снимков), форма объекта, линейные и площадные размеры, геометрические параметры теней объектов, структура и рисунок изображения, его расположение в сочетании с другими объектами и рисунками фотоизображения. Эти характеристики присущи только фотофизиономическим элементам ландшафта, непосредственно отображающимся на фотопленке и образующим изображения разной плотности из-за различий спектральных яркостей. Число таких элементов относительно невелико - формы рельефа, растительный покров, гидрографическая сеть, искусственные объекты, характер поверхностных отложений.

В области биоиндикации антропогенных нарушений экосистем, современный этап характеризуется слабой теоретической разработанностью при избытке информации. Так например, крайне мало работ, где восстанавливается значение фактора по значению индикатора. Основным препятствием в эффективном использовании космосъемки является отставание интерпретационной базы для идентификации экологических нарушений [5]. Для правильной интерпретации применяются ландшафтно-индикационные построения, особенно необходимые для целей экомониторинга. Данный подход [9] состоит в интерпретации результатов аэрокосмической съемки по признакам, являющихся индикаторами других объектов, непосредственно не различимых только на основе различий по яркости, цвету или контрастности. Ландшафтная индикация подразумевает построение системы: "определяемый по снимкам индикатор - объект индикации". Таким образом, дешифрирование идет по усложненной схеме: "фотоизображение - опознаваемый индикатор - индуцируемый объект".

Ландшафтно-индикационное дешифрирование складывается по этапам:

1) Изучение внутриландшафтных связей - анализ сопряженных фактических данных по компонентам ландшафта и его структуре путем изучения литературных, ведомственных и картографических источников, а также по натурным работам на эталонных участках.

2) Установление фотофизиономических индикаторов изучаемых объектов.

3) Установление прямых дешифровочных признаков выявленных индикаторов изучаемых децепиентных элементов.

Большинство требований к сезонам удовлетворяют при наличии двух вариантов съемки: летней - для обеспечения изучения экологических условий и их динамики в гумидных зонах и трехсезонной съемки (весной-летом-осенью) - для субаридных и аридных зон [10]. Наибольшая контрастность отдельных экологических параметров в лесной зоне (полосе земледелия) - в середине мая.

За рубежом применяются материалы космических съемок с ИСЗ "Ландсат" (тематический картограф), "Спот", НОАА (радиометр высокого разреше-

ния). Начиная с 1993 г. в рамках конверсии используют данные военных спутников для задач экологии (разрешение до 1 м при многоспектральности снимков). Часть данных, представляемых NASA (США), доступна через Интернет.

В России функционируют ИСЗ "Ресурс-0", "Алмаз". НПО "Планета" проводит регулярную съемку (телевизионную) со спутника "Космос 1939", с фотоаппаратурой (разрешение 45 метров, ширина полосы захвата - 45 км в трех спектральных диапазонах) в масштабе съемки 1:250000. ГосЦентр "Природа" и НПО "Планета" предоставляют черно-белые и спектрально-зональные отпечатки, в масштабе 1:500 000 и 1:200 000 с ежеквартальным выпуском каталога.

Согласно основным положений по организации и проведению работ на полигонах аэрокосмического мониторинга [4], на региональном уровне используются космосъемка и мелкомасштабные аэроснимки. На локальном уровне проводится покомпонентное покомпонентное дешифрирование природно-техногенных систем, с преимущественным использованием среднимасштабных аэрофотоснимков и других типов фотосъемки. На детальном уровне контролируются отдельные объекты с использованием аэрофотоснимков крупных масштабов, перспективной съемки и наземных снимков.

Однако использование аэрокосмосъемки для мониторинга территорий масштаба административного региона - дорогостоящее мероприятие и экономической целесообразно определить объекты мониторинга, и когда и какой вид съемки следует проводить для решения конкретных задач [6]. Поэтому, основными объектами аэрокосмического мониторинга должны быть территории опорных полигонов и импактные зоны региона. Именно на них, прежде всего, следует проводить наземные наблюдения, хронологически согласованные с систематической космической съемкой и аэровизуальными наблюдениями, созданием и использованием банков аэрокосмических данных и оперативных тематических карт на их основе. Так например, для широко используемых биоиндикаторов - сосновых сообществ статистическая структура данных достаточно устойчива, что позволяет хорошо идентифицировать их "контрастные состояния" на различных уровнях биоценозов. Поэтому, хорошо соотносится биодиагностика с данными космосъемки для различных зон - дехромация и дефолиация сосен (в %), число индикаторных видов лишайников, а также характеристики древостоя (высота, сомкнутость крон, возраст деревьев) для 2, 3, 4 каналов. С помощью ИСЗ "Ландсат" загрязнения гумусового горизонта *K, Mg, Ca, Cu, Fe, Pb* регистрируются на всех каналах, а мхов (*Pleurozium Srebery*) *Ba, Ca, Cu, Mg, Zn, S* - на 3 и 4 каналах [5, 11].

Исходя из важности аэрокосмического мониторинга в системе РГСЭМ, отметим, что в его технические средства должны входить системы дешифрирования снимков, в том числе и автоматического. Кроме того, штат РИАЦ каждого административного региона должен укомплектовываться экспертом по дешифровке космической информации; также необходимо предусмотреть и широкое привлечение подобных специалистов через сетевые конференции РГСЭМ.

1.3.2. Конференции сети РГСЭМ

В сетевой информационно-аналитической системе РГСЭМ функции РИАЦ (рабочие базы и программы) децентрализованы и распределены по периферии. Схема рассредоточенной системы РГСЭМ показана на рис.1.2, а общая схема сетевых ресурсов РГСЭМ – на рис.1.3. Конференции РГСЭМ - среда проведения сетевых экспертиз - обсуждения проектов с привлечением экспертов, консультантов и ЛПР, собрания которых в традиционной форме совещаний не эргономичны, и по-видимому, должны замениться "виртуальным" общением.

1. *Конференции баз данных* РГСЭМ (участники банки данных ведомств и служб по шести видам мониторинга (дистрибьютор – РИАЦ). Основные цели конференций - информационное обеспечение сети РГСЭМ и смежных с ним сетевых комплексов - Госэкоэкспертизы, инспекции аналитического контроля, межрайонной инспекции экологического контроля и системы экологической паспортизации. Обязательные участники конференций - организации, располагающие соответствующими сетями наблюдений:

- контроля состояния биоты;
- контроля состояния природных сред;
- контроля за состоянием природных ресурсов;
- контроля источников и объектов антропогенного воздействия;
- социально-гигиенического мониторинга;
- социально-экономического мониторинга.

2. *Конференции баз знаний сети.* Организуется общение участников интеллектуальных диалогов "ЛПР (эксперт, консультант) - экспертная система", обмен базами знаний и их интерпретациями - "опрос экспертов". Цель конференции – поддержка ЛПР на оперативных совещаниях, объединяя базы знаний и устраивая сетевую экспертизу. Она должна создавать динамическую базу знаний прецедентов и эмпирических правил, для принятия "совместных" природоохранных решений на основе общения баз знаний сети и ЛПР.

3. *Метрологическая конференция* служит для обеспечения достоверности выходной информации РГСЭМ - оценок, прогнозов экологической ситуации и критериев альтернатив выбора управляющих решений, а также системной поддержки сети. Организационную функцию и управление осуществляет администрация сети (Облгоскомэкологии). Использование технологий, основанных на переносе файлов, ставит серьезную проблему разграничения доступа к информации и предотвращения ее несанкционированного распространения. Существенно недопущение утечек служебной информации, и соблюдение коммерческих интересов ее поставщиков. Система сбора/обработки информации будет надежна тогда, когда ведомства, аккредитованные в сети РГСЭМ будут уверены, что их информация не будет использована сторонними лицами в корыстных либо противоправных целях. С этой точки зрения сетевые протоколы Internet, обладают широким арсеналом средств защиты информации, постоянно расширяющимся и совершенствующимся.

4. *Конференции общественного мониторинга.* Улучшить системную полноту наблюдений (в пространственном и параметрическом аспектах РГСЭМ) необходимо за счет проведения различных форм общественного экологического мониторинга. Сюда относятся научные учреждения и вузы, проводящие регулярные экологические, медицинские и социальные обследования региона, или могущие осуществлять их научную поддержку; система учреждений образования, использующая мониторинг, проводимый учителями и учащимися школ, а также системы общественного мониторинга, объединяющие добровольных наблюдателей. Данные формы контроля экологического состояния территорий, проводимого по научно-разработанным программам, обеспечат широкомасштабный учет показателей, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений. Обмен информацией и методическим опытом должен проводиться через сеть РГСЭМ, имеющей дидактико-методические и информационно-аналитические конференции обмена данными. Научно-методическое обеспечение мониторинга должно осуществляться кафедрами вузов региона.

1.4. Аналитические ресурсы сети РГСЭМ

В соответствии с требованиями к территориальной подсистеме ЕГСЭМ [1], данные, получаемые в результате наблюдений, должны обобщаться к видам достаточным для оценки экологической обстановки и выработки корректных вариантов управления в соответствии с программой выполнения работ. Обобщенная информация должна содержать достоверную оценку территорий и факторов воздействия, обеспечивая построение и отслеживание изменений информационного портрета экологической обстановки. Поэтому, цель аналитической подсистемы РГСЭМ заключается в формировании предложений для природопользователей по двум классам задач:

- диагностика, прогноз состояния территорий и выработка критериев для ЛПР (экспертными методами и численным моделированием);
- обеспечение наглядности оценок и прогнозов.

Аналитическая подсистема обеспечивает оценку состояния территорий и выдачу предложений для природопользователей следующими средствами: обработкой баз данных с помощью компьютерных технологий математического моделирования и картографических средств ГИС; районированием территории области по показателям экологического состояния в рамках актуальной задачи для ведомства, аккредитованного в РГСЭМ; разработкой и внедрением на локальном уровне РГСЭМ экспертных экологодиагностических и прогностических систем; объединением абонентов локального уровня РГСЭМ в сеть, ее поддержанием и созданием конференц-связей баз данных/знаний; обеспечением сетевых экспертиз природопользователей.

Информация в сетевых банках РГСЭМ представляет собой базы данных/знаний - показателей и суждений экспертов ведомств в виде специальных

способов оперативного представления сведений по сетевым запросам - оценки, прогнозы, альтернативы выбора и их критерии.

Механизм реализации подпрограммы аналитической подсистемы осуществляется через проекты: экспертного обеспечения (для организаций всех уровней управления хозяйством и природоохраны); формирования системы показателей (для их оптимизации); метрологической поддержки РГСЭМ.

1.4.1. Оценка состояния окружающей среды

На этапе оценок состояния проводят определение структурных зависимостей между системными компонентами - изучение окружающей природной среды, формирование концепции проблемы, выявление влияющих факторов и объяснение сдвигов в состоянии территорий. В моделях $Y = Y(q_k)$ - "реакция индикатора Y - факторы окружающей среды q_k ", трудности описания связаны с нелинейностью поведения объектов Y под внешним воздействием. Для видов, как правило, обычна "колоколообразная" адаптивная реакция вдоль градиента фактора, у некоторых отмечают несколько пиков центральных точек адаптации. В пространстве факторов q_k , видовые популяции перекрываются, и их центральные точки адаптации рассеяны по всему объему факторного пространства. Другая трудность для моделирования связана с системной открытостью природных комплексов - их поведения как диссипативных структур (наличие "складок", "катастроф", бифуркаций), что определяет нелинейность поведения индикаторов экосистем.

Экспертные оценки состояния территорий проводят по показателям ведомств - параметрам биоценозов, заболеваемости с "экологической этиологией" и т.д. Шкалируя признаки X_N по критериям неблагополучия [12, 13,], проводится контроль по сопоставлению с нормативами. Отметим, что для оценки требуется три масштабных уровня [14] - региональный (в данном случае субъекта федерации, а не водосбора), ландшафтный и биогеоценозный. Если мониторинг первого проводится по изменению площадей угодий по космосъемке, то на уровне ландшафта требуется контроль изменения парцелл и биогеоценозов, слагающих ландшафты, их продуктивности, баланса биомассы и т.д.

На рис. 1.4 представлена схема создания ИПЭО в цепочке: "показатели - модели - оценки". Комплексные оценки и выявление весов факторов получают в моделях вида: "состояние территории - факторы среды".

Математическое моделирование при оценке территорий и воздействий на них проводится по мере наполнения баз данных по 2-этапной схеме :

1. Дескриптивные модели ("статический" этап). Оценка природной среды в дескриптивных моделях понимается как распознавание образа территории в пространстве признаков. Снижение размерности пространства проводят элиминацией X_n или их агломерированием в кластеры $q_k(X_n)$. Далее работа осуществляется с постоянной моделью и минимальным числом характеристик.

2. Нормативные модели (этап динамического моделирования). По мере накопления рядов наблюдений, по которым можно будет отслеживать тренды перестройки адаптивных реакций контролируемых компонент экосистемы (применение методов в экологии дано в [15]).

Постановку и формализацию задач создания "информационного портрета экологической обстановки" и наглядного представления оценок на дисплее можно разделить на традиционные подходы, основанные на линейных диагностических правилах, и на структурные оценки состояния природной среды методами распознавания образов.

Линейная диагностика. При описании экосистем зависимости принципиально нелинейны, и современным направлением является отказ от линейных диагностических правил [16], однако их часто используют, как удобные для анализа. Основной моделью является многомерное нормальное распределение и описание проводят с помощью средних и матрицы ковариации $W = [\rho_{ij}]$. Чтобы обеспечить масштабную инвариантность решения проводят центронормирование (матрица данных: p строк на k столбцов), а также расчет W , для предварительного представления об отношениях между переменными X_n . Используют две традиционные стратегии [17]:

- автоинформативные (методы главных компонент, контрастных групп, факторный анализ и т.д.);

- информативные по внешнему критерию (с "обучающей" выборкой) – экспертные и коллективные оценки; ранжирование, парное сравнение, многомерное шкалирование; регрессионный дискриминантный анализ и т.д.

Методы распознавания образов. Оценка состояния природной среды понимается как часть дисциплины распознавания образов. Сюда входят классификация (задача таксономии) и снижение размерности (с выводом на дисплей). Эти методы подразделяются на интенциональные (схемы связей между признаками и операции с признаками) и экстенциональные (операции с конкретными параметрами и объектами) [17]. Интенциональные методы основаны на оценках плотностей распределений признаков, базирующихся на Байесовском и других непараметрических подходах. Используются решающие функции (поиск экстремума градиентным алгоритмом при оценке территории), эволюционное моделирование, лингвистические методы и др. Экстенциональные методы основаны на сравнении с прототипом; на принадлежности к данному классу k -соседей; на вычислении оценок сходства объектов; на коллективах решающих правил.

1.4.2. Обеспечение наглядности поддержки решений ЛПР

В инструментарий РГСЭМ должны входить "дисплейные методы" – создание для ЛПР наглядных обобщающих моделей оценок, прогнозов состояния территорий, а также альтернатив выбора решений. Эти оценки должны быть в идеально простой и наглядной форме, не требующей от эксперта и ЛПР специальных знаний по математике, компьютерам, биологии и т.д. Так в медицине,

математическая обработка данных рентгеновской томографии имеет высшую сложность, а результат абсолютно нагляден и понятен для ЛПР (врача) и легко увязывается им с другими клиническими данными.

Важнейшим приемом "дисплейных методов РГСЭМ" при поддержке решений ЛПР является эколого-географическое картографирование, отображение состояния взаимодействия антропогенной нагрузки с окружающей средой и прогноза развития территорий. Компьютерные базы данных РГСЭМ (текстовые и реляционные) лишены наглядности, необходимой для оперативного манипулирования информацией, что в настоящее время затребовало внедрения ГИС (масштаб карт локального мониторинга - 1:1000-1:25000, а регионального - 1:100000-1:500000). ГИС вмещают большие объемы семантических данных, при простоте создания и актуализации картографических слоев, наглядности для ЛПР и удобстве - "привязке" карт к планам, графикам и схемам. ГИС должна иметь ландшафтную основу и тематические слои, в том числе об уровнях антропогенной нагрузки, отвечать на вопросы о месте объекта (с данным условием), изменениях в показателях и обеспечивать поддержку моделирования.

Еще одним обстоятельством, требующим визуализации, являются задачи, стоящие перед экспертом и ЛПР, оценивающим те или иные стороны природной среды (состояния биогеоценозов, здоровья, уровни воздействия). Это выбор решений по двум принципиальным вопросам - о наличии неблагоприятия на территории при достаточном количестве данных и о системной полноте в экодиагностике территории (с выводами о необходимости новых данных). Обеспечение наглядности в этих задачах проводится построением дерева решений по матрице параметров, с балльными весами, учитывающими информативность признака. Не каждое ветвление дихотомическое и надежное, поэтому на ветвлениях проводится анализ пользы-затрат и последствий решений. В узлах дерева используют количественные методы экодиагностики.

При сравнении последствий двух проектов A_1 и A_2 использования природных ресурсов (в переменных: эффективность освоения ресурсов - экологические последствия) и выборе вариантов, в которых возможны альтернативы исходов, с соответствующими "субъективными вероятностями P_k , назначаемыми экспертами или ЛПР", где ($k = 1..s$, для A_1) и ($k = s..t$, для A_2). Вероятности P_k определяются в неформальной процедуре - "методе лотерей".

Так например, в соответствии с работой [18], пусть для некоторого события \mathcal{A} и лотереи l_k , дающей выигрыш W_1 , если \mathcal{A} произойдет и W_2 , в противном случае. Если ЛПР не может сделать выбор варианта, определить что лучше лотерея l_k , или лотерея, дающая выигрыш W_1 , с вероятностью P и W_2 , с вероятностью $(1 - P)$, то субъективная вероятность события \mathcal{A} принимается равной P . Это сводит определение P_k к "поиску безразличия" между двумя лотереями подбором вероятности события \mathcal{A} в одной из них.

Неизвестным является и вопрос априорного знания всех возможных действий, для чего строится дерево решений. Пусть в некоторой процедуре из многомерных данных X_n получены оценки экологического качества территории

$D_k(X_n)$. Тогда сравнение двух проектов A_1 и A_2 сводится к простому сравнению величин полезностей, соответствующие функции которых F_{A1} и F_{A2} , для обоих вариантов выразятся:

$$F_{A1} = \sum_{k=1}^s P_k D_k(X_n); F_{A2} = \sum_{k=s}^t P_k D_k(X_n).$$

Пример иллюстрации простого дерева альтернатив выбора решений, построенного исходя из последовательного анализа всех возможных событий для случая $s = 3$, $t = 5$ приведен в табл.1.2. Для многокритериальных альтернатив выбора решений необходимо определять отношение между полезностями по разным критериям и использовать взвешенную сумму оценок критериев.

Таблица 1.2

Дерево альтернатив выбора решений

Варианты альтернатив сравнения последствий двух проектов				
Последствия проекта A_1		Последствия проекта A_2		
1. Высокая эффективность и малые экологические последствия	2. Высокая эффективность и очень тяжелые экологические последствия	3. Высокая эффективность и тяжелые экологические последствия	4. Средняя эффективность и тяжелые экологические последствия	5. Средняя эффективность и малые экологические последствия

В работе [19] отмечено, что менее всего разработаны методы построения комплексных карт, представляющих экологическую ситуацию "в целом", несмотря на то, что они могут стать официальными документами для ЛПР при принятии решений, так как отражают весь комплекс проблем и противоречий в условиях *нерегламентированного природопользования*. В основу таких карт заложен анализ соотношения между возможностями окружающей среды выдерживать стресс и сложившейся нагрузкой, что и определяет экологические проблемы разной степени.

Такая карта в виде ГИС-слоя должна раскрывать во-первых оценку природного потенциала территории, а во-вторых вид и степень антропогенного воздействия на территорию, а также специфику экологических проблем. Выбор сюжета карты отражает проблему в результате нагрузки и направлен на восприятие ЛПР и экспертом степени экологического неблагополучия.

1.4.3. Формирование прогноза состояния территории

В соответствии с требованиями к РГСЭМ [1] прогнозирование экологической обстановки должно осуществляться в следующих аспектах:

- воздействия на здоровье людей;

- воздействия на объекты окружающей природной среды и экосистемы;
- возможности использования природных ресурсов.

Для выполнения функции прогноза параметров регионального развития, в т. ч. экологической обстановки, необходимо тщательное изучение существующей экологической ситуации, отсутствие чего является недостатком часто применяющихся моделей прогноза развития. В методологическом аспекте, по Э. Дж. Райкилу [20], на этапе прогноза состояния территорий производится планирование поведения экосистем природной среды, исследование качественных сдвигов в их состоянии и оценка будущих значений переменных под влиянием внешних факторов.

В зависимости от глубины прогноза τ_n , определяемом $\tau_n = \Delta t / \theta$, где Δt – абсолютное время упреждения, θ – характерное время эволюционного цикла территориального объекта, методы прогнозирования подразделяются на экспертные (интуитивные) и формализованные (математические). Если для экспертных методов, предсказывающих поведение неструктуризованных систем, (и при системной неполноте) глубина прогноза $\tau_n \gg 1$, для формализованных систем $\tau_n \ll 1$, действенность описания обычно удовлетворительна.

Сетевая экспертиза РГСЭМ. По конкретным хозяйственным и природоохранным проектам конкретным проектам в сети РГСЭМ должна устраиваться конференция – "сетевая экспертиза". Участник конференции (ЛПР, эксперт, консультант), производит опрос экспертов сети, обмен базами знаний и их интерпретациями с привлечением (в будущем) машинных экспертных систем. В качестве сетевых экспертных методов можно предложить традиционные формы – индивидуальные (интервью, аналитические докладные записки, прогнозные сценарии) и коллективные (анкетирование, "мозговой штурм", метод комиссий и др.). Такая конференция предназначена для диагностики и прогноза окружающей среды, особенно при возникновении "скачка", так например, при нештатной ситуации ($\tau_n \approx 1$), и на определенный период интуитивные методы единственны для поддержки природоохранных решений на основе общения баз знаний сети.

Сетевая экспертиза должна включать три этапа:

Этап 1. Уточнение границ модели прогноза, состава группы экспертов, формулировок вопросов. Для получения качественного экологического прогноза к эксперту сети предъявляют требования: общая эрудиция, специальные знания в данной области, адекватность отображения тенденций развития объекта, наличие психологической установки на будущее, академического интереса к данному вопросу, отсутствие практической заинтересованности, наличие опыта и анкетированием выявляется его соответствие. Обработку анкетных данных на компетентность по самооценке эксперта сети проводят по формуле [21]:

$$K = 0,5 \left(\sum_{i=3}^m v_i / \sum_{i=1}^m v_{imax} + \lambda/P \right),$$

где v_i, v_{imax} - вес градации, перечеркнутой экспертом по i – характеристике в анкете (в баллах) и предел шкалы, соответственно; m – общее количество характеристик компетентности, λ, P – соответственно, вес ячейки, перечеркнутой экспертом в шкале самооценки и предел шкалы (в баллах).

Для хорошего прогнозирования число экспертов N должно быть оптимальным: $N_{min} < N < N_{max}$, где численности групп задаются в зависимости от принятого квалифицированного большинства голосов C_b . Так при $C_b = 2/3$ голосов, пределы группы ограничены неравенствами:

$$0,5(3/\xi + 0,5) \leq N \leq 3 \sum_{i=1}^n K_i / 2K_{max},$$

где K_i – компетентность i – эксперта, K_{max} – максимально-возможная в данной шкале компетентность. Величина ξ - задаваемая средняя ошибка при включении или исключении эксперта, определяемая из условия стабилизации:

$$\xi > (M_{cp} - M_{cp}^* / M_{max}),$$

где, M_{cp}^* – балльные средние оценки прогнозируемой величины, даваемые соответственно, всей группой и группой с исключенным экспертом; M_{max} – максимальная оценка в принятой шкале.

Этап 2. Проведение экспертизы (анкетирование) и обработка анкет. По каждой из альтернатив рассчитываются средние значения результатов прогноза $M_{cp} = \sum M_i / N$, дисперсия оценок $D = \sum (M_i - M_{cp})^2 / (N - 1)$; доверительные границы прогнозируемой величины $M = (M_{cp} \pm \delta M)$, где доверительный интервал $\delta M = t \{D / (N - 1)\}^{0,5}$, t – параметр таблиц Стьюдента для заданного уровня (например 0,05) и числа степеней свободы $(N-2)$.

Далее ранжируются числами натурального ряда оценки важности, данных экспертами и по каждому из направлений находится сумма рангов, назначенных ему экспертами и для оценки согласованности мнений экспертной группы конференции рассчитывается коэффициент конкордации [21].

Этап 3. На данном этапе проводится обсуждение недостающей информации по прогнозу и окончательное формирование прогноза, например через написание прогнозного сценария. Проводя опрос экспертов сети, определяется генеральная цель развития территории, выявление факторов фона и формулировка критериев оценки верхних уровней дендрита целей.

Прогнозирование в формальных процедурах может осуществляться экспоненциальным сглаживанием и подбором кривой тренда, в регрессионных моделях оценки по методу наименьших квадратов (МНК) и др.

Так например, сущность оценки по методу МНК состоит в отыскании параметров тренда: $1 \times k$ вектора \mathbf{a} регрессионной модели $Y^* = \langle \mathbf{X} | \mathbf{a} \rangle + \varepsilon$, где Y^* – оценка состояния окружающей среды, \mathbf{X} - $n \times 1$ вектор независимых переменных, ε - невязка модели, $\langle | \rangle$ - скалярное произведение. Для нахождения параметров

модели тренда: $Y^* = f(\mathbf{a}, \mathbf{X}, t)$ проводится минимизация отклонений расчетных точек Y^* от фактических точек исходного временного ряда Y :

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i^* - Y_i)^2 \rightarrow \min.$$

Поскольку будущее поведения процесса сильнее определяется поздними наблюдениями, то проводится дисконтирование более ранней информации, введением весового вектора \mathbf{B} , с компонентами, задаваемыми в некоторой неформальной процедуре, например убывающих по экспоненциальному закону. Тогда модель прогноза будет иметь вид:

$$S = \sum_{i=1}^n B_i (Y_i^* - Y_i)^2 \rightarrow \min.$$

Простые методы прогнозирования для одномерного ряда, поддерживаются стандартными статистическими пакетами. Так например, сглаживание: экспоненциальное по Брауну (взвешивание последних значений ряда в постоянной, линейной или квадратичной модели), линейное экспоненциальное по Холту (с включением двух сглаживающих постоянных a_k), сглаживание по Винтеру (трех a_k), оценки по МНК для подбора экспоненциальной (линии тренда, использование МНК оценки для подбора линии тренда логистической кривой, декомпозиция временного ряда с учетом сезонных колебаний).

Значительную часть баз данных РГСЭМ составляют наблюдения ведомственных систем мониторинга, образующие временной ряд с сериальной корреляцией. Возникает необходимость использовать методы обработки последовательных наблюдений - функцию автокорреляции и коэффициенты корреляции (для проверки на периодичность), функцию частной автокорреляции (для оценки количества термов в авторегрессионной модели), функцию взаимной корреляции (для определения скоррелированности временных рядов), преобразование Бокса-Кокса данных ряда (при стабилизации дисперсии), преобразование Фурье (разложение дисперсии на вклады), метод интегрированной периодограммы (для проверки данных на случайность), авторегрессионное скользящее среднее (моделирование разностных и неразностных рядов, оценки моделей и их диагностика). В процессе развертывания технологических средств РГСЭМ возможно расширение инструментария - применения бустреп-методов построения правил предсказания на обучающих множествах [22]; нейросистемных технологий; лингвистических методов распознавания, например на базе нечетких множеств. Подобные подходы интенсивно внедряются в медицинской диагностике/прогнозировании, а также в психодиагностике – дисциплинах с низкой структуризованностью и высокой размерностью исходных данных.

Банки данных организаций – абонентов сети, из долговременных временных рядов и сформированные в процессе экспертиз динамические базы знаний

должны обеспечивать ГИС - поддержку - создание прогнозных карт для экспертизы природоохранных решений.

Главным методическим приемом работы аналитической подсистемы РГСЭМ при формировании сценариев прогноза состояния территорий должно быть использование обширного инструментария оценок динамики развития событий как формального, так и экспертного, полученного в процессе сетевого общения абонентов. Совокупность методов позволяет получать прогнозы, ориентированные на определенную целевую функцию развития ситуации. Методологически это подразумевает выполнение двух основных операций - формирование множества альтернатив обликов прогнозируемой территории (экосистемы) территории и сравнение и выбор из этих альтернатив.

Оптимизация прогнозируемой территории проходит два этапа:

- оптимизацию облика, т.е. процедуры синтеза альтернатив обликов прогнозируемого объекта;

- формирование критериев и выбора предпочтений, оптимизация параметров (оценка альтернатив по затратам, формирование критериев оптимальности и выбора предпочтительной по облику и параметрам альтернативы).

В соответствии с принципом локализации проблем, система прогноза состоит из шести подсистем [21], выполняющих задачи: формирование задач развития территории; системы функций, обеспечивающей решение поставленных задач развития; системы средств выполнения заданных функций; комплексных критериев предпочтения альтернативных обликов; оценка неоднородности элементов системы средств; синтез совокупностей предпочтительных альтернатив облика прогнозируемой территории. Таким образом, создается система прогноза, непрерывно решающая проблему сравнения-выбора вариантов развития территории. Эта сетевая система управления с обратными связями определяет тенденции и рассогласования реального и прогнозного развития.

1.4.4. Выработки рекомендаций по оптимизации природопользования

Центральным моментом при реализации хозяйственных проектов является принятие решений с рассмотрением ряда альтернатив и оценкой глубины последствий каждой из них. Ситуация выбора обычно уникальна и при наличии множества разнородных факторов разной значимости имеет многокритериальный характер альтернатив при неопределенности последствий решений. Реализация систем поддержки управления на базе информационной сети организаций области требует современных технологий обоснования альтернатив выбора в региональной политике. Эту роль должна играть РГСЭМ –информационная система, обеспечивающую прогнозы, оценки всех альтернатив и выбор оптимальной стратегии хозяйственной деятельности региона с учетом экобезопасности, природоохраны, ресурсосбережения и социального здоровья. В широком смысле, сеть РГСЭМ становится базой данных, знаний и вычислительного инструмента-

рия, рассредоточенной по рабочим станциям организаций, т.е. средством коллективной работы ведомств в области природопользования.

В конкретной хозяйственной задаче региона формирование рекомендаций должно проводиться аналитической подсистемой РГСЭМ - экспертами и консультантами сети, прогнозирующих состояние среды в сетевых экспертизах. Задачи управления окружающей природной средой относятся к слабоструктуризованным и оценки качества альтернатив в них можно получить двумя путями: обработки экспертных заключений и построением моделей. В конечном итоге, оба способа используют субъективные оценки - либо мнение экспертов, либо специалистов, разрабатывающих модели.

Любое управленческое решение проходит через три стадии - постановка задачи, составление плана решения и его выполнение, являясь творческим актом ЛПР, направленным на устранение проблем, возникшим в объекте управления. Процесс принятия решений является процедурой, главные участники которой - руководитель и эксперты, вооруженные методологией, позволяющей находиться в диалоговом режиме с результатами математического моделирования, получаемыми тут же на компьютере. Последние могут давать существенную часть информации, необходимой для принятия решения. В основе выбора решений [23] лежит допущение, что наилучшему варианту соответствует тот, которому соответствует максимум функции полезности Φ_u . Так например, для аддитивной модели $\Phi_u = \sum w_i D_i$, где w_i - вес i -критерия, D_i - оценка i - альтернативы. Далее рекомендации выносятся на экспертизу и оценку научно-техническим советом региона и затем на уровень ЛПР для принятия решений.

Уровень консультативной деятельности является важной чертой хозяйственного развития административного региона. Традиционные процедуры управления становятся малоэффективными, что должно востребовать аналитиков и в административном аппарате, и в сетевых экспертизах.

Экспертные оценки для принятия решений

Конкретные методы анализа при принятии управленческих решений, с помощью которых решается проблема, представлены ниже:

- в *декомпозиционных методах* представляют сложную проблему природопользования как совокупность простых вопросов с последующей "сшивкой" решений для получения общего оптимального решения;

- *диагностический анализ* - поиск в проблеме приоритетных задач, которые решаются в первую очередь. Используется при ограниченных ресурсах;

- *метод аналогий*, включает поиск возможных решений на основе заимствования из других объектов управления (аналогий свойств, аналогий отношений или аналогий изоморфизма для тождественных объектов);

- *экспертные оценки*. В основе метода лежит формирование идей, которые рассматриваются, оцениваются, сравниваются. Главное требование метода - "правильное" формирование групп экспертов и продуманные формы вопросов;

- *дельфийский метод* используется в условиях недостатка информации. Экспертам задают вопросы, мнение меньшинства экспертов доводится до мне-

ния большинства, которое либо соглашается с решением, либо нет. Если большинство не согласно, то их аргументы передаются меньшинству и там анализируются. Процесс повторяется до тех пор, пока все не придут к одному мнению либо выделятся группы, не меняющие решения;

- *метод неспециалиста*. Вопрос решается специалистами в смежных областях, которые никогда не занимались данной проблемой.

Надежность оценок альтернатив зависит от полноты перечня альтернатив (сложная проблема в процессе выбора) и качества экспертизы. Так для вербальных оценок [24], можно выделить две причины ошибок диагностики - объективные (слабость научной базы для объяснения сути "плохой экологической обстановки", позднее привлечение исследователей, тяжелое состояние территории, нетипичность и невыраженность симптоматики, отсутствие исследований и специалистов) и субъективные (низкая квалификация эксперта, неполнота системы показателей территории, запоздалое и недостаточное исследование, переоценка возможностей методов исследований, абсолютизация мнения специалиста, отсутствие своевременных консультаций и диагноза). Согласно Хегглину, треть всех ошибок определяется незнанием, недостаточностью исследования, лабораторными и техническими ошибками.

Эксперт совершает ошибки в суждении вследствие недостаточно конструктивного мышления, установки на безошибочность своего диагноза, предвзятости мнений и тенденциозности, самолюбия и тщеславия, нелогичности выводов, нерешительности характера, стремления к постановке оригинальных диагнозов и других черт. Построенная на субъективных оценках экспертов модель оптимизации природной среды в общем случае далека от оптимальной, так как в ней неверно (или неточно) определен экстремум целевой функции, который и определяет для ЛПР критерий выбора решения.

Для решения сложных задач управления экологическим качеством территории используется системный подход - выделение системы из внешней среды и определение совокупности последовательных, логических шагов для рассмотрения проблемы. Экологическое качество территории имеет все основные признаки системы (структурность, динамичность, определенность и упорядоченность), поэтому для него возможен системный подход к оценке, анализу и управлению. В процессе формирования решений выделяют следующие этапы определения целей ЛПР [25]: выявление проблем в процессе достижения целей; исследование проблем и постановка диагноза; поиск решения; оценка всех альтернатив и выбор наилучшей; согласование и утверждение решений; подготовка к вводу результатов в действие; управление применением решения и проверка эффективности.

Систематизация, введение логических этапов при решении сложных проблем выбора, может оказаться полезной для ряда руководителей и консультантов, но она не универсальна в решении проблемы. В сложных слабоструктурированных проблемах выбора "научно-обоснованных решений" вообще не су-

ществует [26]. Важным является признание субъективности принятия решений, что повышает ответственность ЛПР.

Однако главные причины, препятствующие использованию более совершенных методов принятия решений – это привязанность ЛПР к привычным формам их подготовки, стиль и методы работы консультантов, а также недоучет ими человеческих факторов. Сотрудничество ЛПР и консультантов - совместная и кропотливая работа при средней эффективности, так как нельзя сделать хорошего выбора, например, при только плохих альтернативах. Другая проблема заключается в определении наилучшего для ЛПР соотношения между критериями модели, в понимании степени возможности достижения экстремальных значений по всем критериям и, главное, выработке разумного компромисса. Тем не менее, структуризация принятия решений и разумное использование экспертов увеличивают способность ЛПР решать сложные проблемы.

Основных причин принятия неоптимальных решений две - организационная (организационные системы неэффективны для решения задач выбора) и кадровая (отсутствие специалистов, адекватных решаемой проблеме). Идеал - компетентный и беспристрастный эксперт, на практике, редок и проблемы выбора (особенно уникального выбора) по большей части не обеспечены хорошими экспертами. Эти вопросы в частично разрешаются при использовании системного подхода и методов математического моделирования в решении задач анализа высокоорганизованных систем управления окружающей средой.

Математические методы поддержки управленческих решений

Другие математические методы анализа при принятии управленческих решений для задач РГСЭМ перечислены ниже:

- *линейное программирование.* Решение оптимизационных задач на экстремум целевой функции в линейных моделях (как целевая функция, так и искомые переменные линейны и неотрицательны, с выпуклым множеством всех допустимых решений в пространстве переменных). Разработаны методы последовательного улучшения качества допустимого решения (симплекс-метод, базисное решение, декомпозиционные методы, динамическое программирование и др.), а также стохастические методы (случайные компоненты в целевой функции и искомых переменных);

- *имитационное моделирование.* Динамическое (адаптивное) моделирование как детерминированное, так и стохастическое. Имитационная система включает модель и алгоритмы решения задач моделирования. С помощью статической имитации определяется сочетание факторов, оптимизирующих целевую функцию, динамической - получают прогнозы развития экологической обстановки в зависимости от величин управляющих параметров;

- *методы теории вероятности.* Параметры представлены случайными переменными и стохастическими связями, а модели определены через законы распределения. Каждая стратегия выбора решений может дать несколько резуль-

татов с оценками на основе экстраполяции. В задачах с риском максимизируют математическое ожидание полезности результатов или применяют пороговую оптимизацию. Выбор стратегии обусловлен вероятностью и полезностью результатов выбора природоохранных решений;

- *методы теории игр* применяются в конфликтных условиях, например игра - "природоохрана-природопользование", как задача поиска седловой точки - равновесия обеих ведомственных интересов, где организации выбирают стратегии поведения, при полной неопределенности. В рамках этого подхода можно получать, компромиссы, устраивающие обе стороны;

- *сетевое планирование* предполагает проведение анализа развития процесса на основе анализа и сетевого графика. В процессе разработки модели производится "сшивание" общего сетевого графика, а в процессе использования происходит оптимизация, определение критических путей и т.д.;

- *комбинированные методы*. Есть разработки в задачах принятия управленческих решений, где методы используются совместно - например, Дельфийский метод с вместе с сетевым планированием и управлением как на детерминированных, так и на вероятностных моделях.

В исследовании операций (по общей схеме системного подхода) для сравнения альтернатив применяют модели систем, с коллективами людей, но эти методы предназначены для структуризованных проблем. Неструктуризованные задачи оптимизации природной среды решаются эвристическими методами, без упорядоченной процедуры отыскания решения.

Для построения модели принятия управленческих решений вида "состояние территории - факторы окружающей среды плюс управляющие воздействия", требуется формализации цели деятельности, ее приоритетов, и использование имеющейся информации. Однако, в связи с неформализуемостью целенаправленной деятельности человека, модель определяет лишь неэквивалентность множества вариантов решений, отображающую и субъективные предпочтения ЛПР, и неопределенность из-за недостатка информации о работе системы [26].

В управлении качеством окружающей среды математические модели системы с участием людей являются еще менее формализуемыми. Попытка формализации, учета и включения человеческих качеств ЛПР, как индивидуумов, так и коллективов в системе конкурентных, партнерских, союзнических и нейтральных отношений в решение сложных задач управления с позиций системно-информационного анализа приведена в работе [27]. Так, в блочной модели управления, ЛПР представлен как оператор, находящийся на i -месте в иерархии управления и призванный достигать j -цели системы. Человеческий фактор рассматривается не вообще, а относительно достижения i -цели системы, причем его структура иерархична по четырем уровням проявления на обоих этапах - при выборе компромиссной цели и этапе управления.

На региональном уровне от РГСЭМ требуется представление вариантов решений и научного обоснования каждой из альтернатив выбора стратегии оптимизации природной среды. Решение - это алгоритм пошагового регулирования

(изменение параметров воздействий, природоохранные мероприятия, расширение номенклатуры показателей). Роль РГСЭМ в модели управляемой системы заключается в отслеживании территорий и оптимизации уровней в цепи обратной связи (экспертиза особенностей альтернатив выбора в зависимости от критериев анализа экологической ситуации для выработки управленческих решений). В оптимизацию входит коррекция пространственного размещения точек пробоотбора, номенклатуры показателей и периодичности опросов сети ведомственных наблюдений.

Применение объектно-ориентированных технологий предоставляет возможность мобильного изменения структуры и алгоритмов обработки информации, что позволяет системе РГСЭМ выступать в качестве эксперта, помогающего ЛПР в постановке диагноза состояния экосистем, сообщаемого обобщенные данные (оценки биоценозов и прогнозы развития в них тех или иных процессов) и критерии альтернатив выбора вариантов управляющих воздействий на природоохранную и хозяйственную деятельность. С точки зрения на РГСЭМ как распределенную экспертную систему, математические модели входят в ее базу знаний.

Математические модели принятия решений

Математические модели являются наиболее универсальным средством помощи эксперту, консультанту и ЛПР для цели принятия решений. Если создатели модели уверены в ее адекватности, ориентируясь на свой экстремум функционала $f(\mathbf{Z})$ - критерий сравнения альтернатив (оптимизации), то она используется далее для решения задач оценок, прогнозирования, выбора альтернатив при принятии решений.

Пример схемы системного подхода приводится в работе [28] - модель регулирования состояния среды (ее энергетические и информационные потоки и место мониторинга в системе). Система должна отвечать на вопросы о состоянии окружающей среды, причинах ее изменений и источниках воздействия, о допустимости изменений и др. Мониторинг строится на "всестороннем анализе среды" - по отдельным и интегральным показателям (используются ПДК, дозы, предельно-допустимые экологические нагрузки).

Для оптимизации природопользования и природоохраны с помощью управляющих воздействий требуется включение в модель параметров управления. Формализация цели развития территории с учетом ее экологического состояния, возможностей и средств достижения может рассматриваться в виде нормативной оптимальной модели сложной структуры, объединяющей блоки из частных дескриптивных моделей. Модель должна отображать динамику процессов - "поведения" территории (экосистемы) как задачу синтеза системы управления в терминах теории принятия решений.

Наряду с уравнениями взаимосвязи переменных модель содержит многокритериальную (s -компонентную) задачу и должна включать функционал:

$f(\mathbf{Z}) = \{f_1(\mathbf{Z}), f_2(\mathbf{Z}), \dots, f_s(\mathbf{Z})\}$ – векторную целевую функцию, определяющую качество вариантов решения $\mathbf{Z} = (z_1, \dots, z_n)' \in D$.

Обычно рассматриваются оптимальные решения $\mathbf{Z}^* \in D$ (в смысле Парето) соответствующей многокритериальной задачи [29]. Такое решение $\mathbf{Z}^* \in D$ оптимально в смысле Парето, если нет ни одной точки, $\mathbf{Z} \in D$, такой, чтобы:

$$f_k(\mathbf{Z}) \leq f_k(\mathbf{Z}^*), k = 1, 2, \dots, s;$$

и если хотя бы для одного j – критерия не выполняется строгое неравенство:

$$f_j(\mathbf{Z}) < f_j(\mathbf{Z}^*), k = 1, 2, \dots, s.$$

Если такой вектор \mathbf{Z} существует, то в смысле Парето он оптимален (не уступает ни одному из критериев, а по некоторым лучше чем \mathbf{Z}^*).

Однако, критерии задач природопользования и природоохраны территории противоречивы. Поэтому и оптимизации территорий не одноцелевая, что требует поиска компромиссов на множестве Парето в пространстве критериев, и представляет неформальную задачу для ЛПР.

Так например [26], в качестве исходной информации, может служить следующая таблица, считающаяся априорно известной (Табл. 1.3). В таблицу заносят оценки полезностей $f(\mathbf{Z})$ альтернатив. Выбор предпочитаемой альтернативы с полезностью $f^*(\mathbf{Z})$ проводится на основании одного из следующих критериев:

1. Максиминный критерий (наибольшая осторожность). Выбирается:

$$f^*(\mathbf{Z}) = \max_i \min_j f_{ij}(\mathbf{Z}), \text{ где } i - \text{ индекс строки, } j - \text{ индекс столбца.}$$

Таблица 1.3

Перечень полезностей для альтернатив выбора

Альтернативы	Варианты внешних условий		
	B_1	B_2	B_m
A_1	$f_{11}(\mathbf{Z})$	$f_{12}(\mathbf{Z})$	$F_{1M}(\mathbf{Z})$
A_N	$f_{N1}(\mathbf{Z})$	$f_{N2}(\mathbf{Z})$	$F_{NM}(\mathbf{Z})$

2. Критерий минимаксного сожаления (вводится понятие сожаления для i – й альтернативы и j - варианте внешних условий):

$$C_{ij} = \{f_{ij}(\mathbf{Z}) - f^*(\mathbf{Z})\}, \text{ далее выбирается: } f^*(\mathbf{Z}) = \min_i C_{ij}(\mathbf{Z}).$$

3. Критерий максимакса (крайний оптимизм):

$$f^*(\mathbf{Z}) = \max_i \max_j f_{ij}(\mathbf{Z}).$$

4. Критерий Гурвича. Пусть для i – альтернативы:

$$m_i = \min_j f_{ij}(\mathbf{Z}); M_i = \max_j f_{ij}(\mathbf{Z}).$$

Для каждой альтернативы A_i вычисляют показатель:

$$f_i(\mathbf{Z}, a) = am_i + (1-a)M_i, \text{ где } 0 \leq a \leq 1. \text{ Далее (при заданном } a) \text{ выбирается:}$$

$$f^*(\mathbf{Z}) = \max_i f_i(\mathbf{Z}, a)$$

5. Критерий Лапласа. Варианты внешних условий равновероятны и для каждой альтернативы A_i вычисляют показатель:

$$f_{icp}(\mathbf{Z}, a) = 1/m \sum_{i=1}^m f_{ij}(\mathbf{Z}). \text{ Далее выбирается: } f^*(\mathbf{Z}) = \max_i f_{icp}(\mathbf{Z}, a).$$

В данном случае неформальной становится процедура выбора ЛПР "лучшего" из пяти критериев.

Еще одним распространенным подходом сведения многокритериальной задачи к скалярной (однокритериальной) является представление обобщенных критериев в виде взвешенной по степеням полезности L_k суммы $f_{\Sigma}(\mathbf{Z})$, или мультипликативный критерий $f_{\Pi}(\mathbf{Z})$, со взвешенными по h_k произведениями:

$$f_{\Sigma}(\mathbf{Z}) = \sum_{k=1}^s L_k f_k(\mathbf{Z}); \quad f_{\Pi}(\mathbf{Z}) = \prod_{k=1}^s \{f_k(\mathbf{Z})\}^{h_k}.$$

Сведение многокритериальной задачи к скалярной ставит перед ЛПР другую неформальную задачу - выбор систем взвешивающих векторов $L = (L_1, \dots, L_k)$ и $h = (h_1, \dots, h_k)$. Отметим, что оба обобщенных критерия $f_{\Sigma}(\mathbf{Z})$ и $f_{\Pi}(\mathbf{Z})$ эквивалентны с точностью до логарифмирования.

Целевое программирование в задачах мониторинга.

При оптимизации природопользования с помощью управляющих воздействий должны быть востребованы выходные данные РГСЭМ - экосистемные показатели в импактных зонах и на опорных полигонах. Данные на ОП описывают климатическое квазиравновесие средообразующих компонентов экосистемы - газового состава, почвосубстрата, численности автотрофов и гетеротрофов, с сообществами заключительной фазы сукцессии. Для урбо- и агрофитоценозов (ИЗ) также имеется баланс в условиях техногенной преобразованности ландшафтов - узловое квазиравновесные сообщества. Данные два типа квазиравновесного состояния экосистем являются "идеалами" для территорий с заметной сукцессией - первые "региональными эталонами" для природного комплекса, а вторые - фоном для антропогенно - нарушенных территорий. Определим две системы критериев: функционал для фоновых условий $F^*(\mathbf{Z})$ и целевую функцию для импактной зоны $F(\mathbf{Z})$:

$$F^*(\mathbf{Z}) = \{f_1^*(\mathbf{Z}), f_2^*(\mathbf{Z}), \dots, f_s^*(\mathbf{Z})\},$$

$$F(\mathbf{Z}) = \{f_1(\mathbf{Z}), f_2(\mathbf{Z}), \dots, f_s(\mathbf{Z})\}.$$

Применяя подход целевого программирования введем некоторую функцию расстояния $r \{F^*(\mathbf{Z}), F(\mathbf{Z})\}$ между векторами $F(\mathbf{Z})$ и $F^*(\mathbf{Z})$. При этом, задача многокритериальной оптимизации сводится к однокритериальной:

$$\min_{\mathbf{Z} \in D} r \{F^*(\mathbf{Z}), F(\mathbf{Z})\}.$$

Вид функции расстояния $r \{F^*(Z), F^*(Z)\}$, как внешний по отношению к задаче, часто берут в следующем виде [29] :

$$r \{F^*(Z), F^*(Z)\} = \sum_{i=1}^s c_i \{f_i^*(Z) - f_i(Z)\}^2.$$

При этом, неформальной задачей для ЛПР при сравнении фоновых и импактных территории становится выбор вектора коэффициентов $\langle c \rangle$.

Таким образом, во всех случаях, в процессе принятия решений присутствует неформальная процедура выбора. Человеческие аспекты являются пока необходимыми, с их учетом основывается получение весовых векторов на ступени выдачи рекомендаций аналитической подсистемой РГСЭМ.

Экспертные системы природопользования

Оптимальность функционирования системы "окружающая природная среда - антропогенные факторы - РГСЭМ - стратегия регулирования", как последовательная итеративная процедура изменений параметров и отслеживания реакций, возможна лишь для квазистатических процессов. Однако, при разработке хозяйственных проектов требуется оперативная помощь ЛПР при постановке диагноза, прогноза состояния экосистем и выдачи критериев альтернатив выбора управляющих воздействий при различных глубинах прогнозирования. По-видимому, со временем, основными референтами ЛПР по управлению природоохраной в сети РГСЭМ станут экспертные системы (ЭС). Эти системы обеспечивают обработку баз данных при непрямых постановках вопросов, автоматическое реферирование и анализ противоречивости и неполноты фрагментов знания по состоянию территорий. ЭС позволяют ЛПР как специалисту в области природопользования или природоохраны обобщить и продемонстрировать свой опыт, решая неформализованные задачи.

В настоящее время делаются значительные усилия для интеграции искусственного интеллекта и технологий баз данных для разработки систем управления базами знаний (СУБЗ - KBMS). При этом осуществляются попытки объединить в одной системе преимущества как искусственного интеллекта, так и баз данных. Примером таких систем и должны стать РГСЭМ. Искусственный интеллект лучше использовать в целях представления, вывода рассуждений и поиска решений в области природопользования и охраны природы, а базы данных эффективнее в обработке большого количества данных/знаний. ЭС природоохраны для ЛПР позволят как диагностировать контролируемую территорию, так и принимать "совместные" природоохранные решения на основе оперативного общения двух баз знаний (человека и электронной машины) в интеллектуальном диалоге ЛПР с компьютером. Разработка ЭС занимает около года времени при трудоемкости порядка 5 человеко-лет [30].

Основные блоки экспертной системы природоохраны.

1. Интеллектуальный интерфейс с пользователем, организующий общение с ЭС в наиболее удобной форме, оценивающий естественно-языковые сообще-

ния по состоянию территорий и воздействий на них, способный анализировать "косвенную" информацию с помощью развитых логических средств.

2. База знаний, хранящая долгосрочные данные об экосистемах и экологические знания - интенциональные (оперирующие связями между признаками экосистем, событиями и отношениями) и экстенциональные (знания о конкретных параметрах и объектах) в виде фреймов, сценариев, продукционных систем и семантических сетей. Она содержит факты, характеризующие воздействия на территории, с классификацией по степени значимости для экосистем.

База знаний (с фактами и логическими правилами) позволяет машине выводить новую информацию. Факты образуют базу данных; база знаний состоит из базы данных и базы правил. База данных имеет реляционную модель, правила базы знаний представляют собой систему логического программирования (на дизъюнктах Хорна). [29]. Процесс пошагового изменения параметров и отслеживания территориальных реакций с понимаемой целью действий, или становящейся понятной в процессе взаимодействия, описывается на языке методов анализа целей и результатов. Формирование планов достижения целей, как итеративную процедуру сравнения обозначенных и достигнутых поэтапных целей, составляет для ЛПР процесс образования динамической базы знаний для решения конкретной задачи регулирования.

Целями ЭС в сети, в отличие от решаемых ею задач, могут являться формализация знаний экспертов, улучшение качества решений экспертов, автоматизация их рутинной работы, тиражирование знаний эксперта. Данные цели наиболее органично достижимы в рамках сети пользователей РГСЭМ.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ЗАДАЧЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РГСЭМ

Стоимость технических средств мониторинга составляет в развитых странах заметную долю национальных бюджетов, и поэтому для его оптимизации должен быть тщательно проработан предпроектный этап. В соответствии с работой [28] методологическая основа этой оптимизации - всесторонний анализ окружающей среды, классификация объектов воздействия и их последствий. РГСЭМ должна быть подсистемой ЕГСЭМ, обязана выполнять определенные функции на своем уровне и объединять сведения локального мониторинга. Согласно работе [42], необходима территориальная иерархия РГСЭМ (от отдельного источника – до совокупности, и от природного объекта – до биоценозного комплекса), определяемая целями наблюдения и задачами управления природопользованием. Деление региона на однородные участки надо осуществлять простым и объективным способом.

В отличие от хорошо проработанного локального уровня, система территориального мониторинга практически не разработана. В региональном масштабе источники воздействия на природный комплекс не локализованы и изменение уровня нагрузки обычно невелико на фоне изменчивости биоты [41].

На региональном уровне естественные процессы и хозяйственная деятельность представляют сложившуюся квазиравновесную структуру поступления и выноса вещества и энергии через природные системы. Специфика этой структуры, по-видимому, наиболее адекватно очерчивается в некотором "региональном масштабе", понимаемом, в свою очередь, неоднозначно.

Так, для отображения массо-энергообмена за счет природных процессов используется понятие "экологического региона", за который, чаще всего, принимают бассейн водосбора "достаточно крупной" реки. По оценкам работы [41] размер региона - порядка тысячи километров, а согласно работе [12] к "областному" масштабу относят площади свыше 10 тысяч кв. км.

В аспекте аэротехногенного воздействия, важнейшего в настоящее время характерный масштаб уровней двумерных полей загрязнения соответствует некоторым типичным "региональным" размерам. Характеристикой масштаба будут являться параметры спада с расстоянием r автокорреляционных функций загрязнения $C(R) = \langle r | (r+R) \rangle$, анализируемые по достаточно протяженной сети точек, например, концентраций в депонирующих средах.

В данном контексте весьма характерны результаты работы [8], где на основании результатов снеговой съемки на 362 метеостанциях ЕТС и 434 метеостанциях АТС приведены расчеты загрязнений снега сульфатами на территории России в 1982-83гг. Анализ автокорреляционных функций содержания сульфат-иона в снеговом покрове $C(R)$ показывает наличие в них двух экспонент и, соответственно, двух постоянных спада R_1 – порядка 50-100 км и R_2 – примерно 1000 км. Первая R_1 – статистическая характеристика спада загрязнения от местного источника, которая для задач контроля адекватна "характерному размеру локального уровня мониторинга". Масштаб второй константы R_2 – характеристики спада загрязнения от промышленного района, соответствует "региональному уровню" оседания поллютантов.

Кроме того, "региональный уровень", соответствует административным единицам, площади которых варьируют в весьма широких пределах от 8 тыс. кв.км. (Северная Осетия) до 3103 тыс. кв.км (Саха-Якутия). В хронологическом аспекте, основная проблема при организации и проведении РГСЭМ в том, что принятие управленческих решений производится не по экологическим регионам, не по территориям, соответствующим загрязнениям от промышленного района, а по административным единицам. Последние, кроме того, являются территориями, где проводятся наблюдения за природной средой, хозяйством и социумом. Их характерные размеры (от 100 до 1500 км) соизмеримы с масштабом экологических регионов – бассейнов "достаточно крупной" реки, и с величиной R_2 ("регионального уровня загрязнения" от промышленного района).

В параметрическом аспекте организации РГСЭМ, основная проблема в том, что индикационные закономерности, в том числе показатели статистического учета ведомств имеют выраженный региональный характер [66]. Поэтому, параллельно оценке состояния региона необходимо проводить разработку системы показателей X_n – наиболее адекватных поставленным конкретным задачам. Наиболее общие требования к индикации следующие [31]: относительная быстрота проведения измерений, получение точных и воспроизводимых результатов, большое количество объектов, по возможности, с однородными свойствами, не более чем 20-процентный диапазон погрешности по сравнению с другими методами. Информативность индикатора определяется его сопряженностью с изменениями объекта и обуславливающей достоверность прогноза состояний индикатора по значениям индикатора.

Поскольку оптимизация стоимости технических средств РГСЭМ требует минимума наземных исследований при максимальном использовании данных ведомственных сетей наблюдений, то их показатели являются основным информационным ресурсом на региональном уровне РГСЭМ. Источником дополнительных данных служит контроль, проводимый научными, образовательными учреждениями и общественными наблюдателями.

2.1. Задача параметрической организации РГСЭМ

В сети РГСЭМ содержатся следующие информационные ресурсы:

На региональном уровне описания территории:

- показатели сетей ведомственных наблюдений (приоритетные, имеющие наибольшие веса в моделях "факторы среды – экологическое состояние территорий" в формах ежегодной отчетности);
- показатели описания территорий на локальном уровне (на опорных полигонах и полигонах в техногенных зонах области);
- прочие сетевые ресурсы, представляемые ведомствами в сетевые базы данных, в процессе обмена информацией;
- показатели, полученные путем моделирования (алгоритмами конверсии - типологическим преобразованием территории).

На локальном уровне описания территории (на опорных полигонах и полигонах техногенных зон) содержат:

- показатели дистанционного зондирования территорий (оцифрованные спектрозональные фотографии и материалы их дешифровки;
- показатели сетей ведомственных наблюдений (по полной номенклатуре, со всех пунктов наблюдений и контрольных створов, находящихся на территории данного полигона);
- показатели режимных исследований, осуществленных специалистами на пробных площадках наблюдений ;
- показатели исследований, осуществляемых на ОП в порядке реализации проекта параметрической оптимизации РГСЭМ ;
- данные мониторинга, проводимого через сеть учреждений образования, науки, общественного мониторинга на контролируемых территориях.

В параметрическом аспекте РГСЭМ такие дисциплины, как экологическая экспертиза, нормирование, диагностика, прогнозирование, мониторинг и ОВОС различаются между собой только конечными задачами исследований. Данные направления, так или иначе, вынуждены решать только две задачи - определение диагноза состояния экологической единицы и решение проблемы нормы-патологии [6]. Поэтому основной проблемой является определение наиболее информативных показателей, позволяющих решить две основные задачи – диагноза и нормы-патологии, при этом осуществляемым с одновременным слежением и анализом изменений состояния территории.

2.1.1. Модели описания территорий и отбор показателей

В центре внимания параметрической организации системы РГСЭМ находится выбор "информативных показателей" экологической ситуации, наиболее полезных для ЛПР и экспертов и, тем самым, оптимизация количества параметров, необходимых и достаточных для репрезентативной оценки. Территория из p единиц может описываться произвольным числом n показателей $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T \in \mathbb{R}^p$, из которых необходим лишь небольшой список признаков X_n . При выборе X_n можно предъявить только общесистемные требования - полноты описания экологической ситуации, экономности описания и структуризованности, в данном контексте понимаемой как наличие шкалы оценок. Можно выделить три способа сокращения рабочего словаря признаков.

1. ***"Волевой" отбор параметров.*** Оценка территории проводится по некоторым k параметрам X , случайно (например исходя из технических возможностей), отобранным из n возможных ($k \ll n$). На практике, число X_n обычно весьма велико, и в экспертном отборе из них специалист предлагает свою систему, хотя ее информативность не известна. Поэтому, согласно работе [31], большинство таких работ, не адекватны задачам оценки экосистем.

2. ***Эвристический способ.*** Отбор k "информативных" переменных X_n проводится по некоторым экспертным принципам выбора параметров, носящих неформальный характер. Так, для интегральной характеристики биогеоценозов необходимы показатели их целостной оценки; времена изменения параметров должны соответствовать временам процессов [33]. Согласно работе [34] параметр должен относиться к процессам с гомеостатическим механизмом регулирования, давать неспецифический отклик на разные факторы, превышать природ-

ный фон, при минимальном времени формирования отклика, продолжительно его фиксировать, несложно и недорого измеряться и быть интегральными. Для импактного мониторинга за критерии выбора X_n берут: роль компонента в круговороте вещества-энергии и поддержание устойчивости экосистемы; вклад в функционирование экосистем более высокого ранга; в выполнение социально-экономических и эстетических функций; высокую чувствительность, надежность и малое время реагирования на внешние факторы. Эти требования делят множество X_n на: "**основные**" (по одному из первых трех критериев) - интерпретируемые в ценностных шкалах, и "**коррелятивные**" (удовлетворяющие лишь 4-му критерию) - опережающие индикаторы [31].

3. Использование комплексных оценок. Комплексные оценки (индексы, интегральные оценки) строят на базе исходных показателей и они отображают совокупную реакцию компонент биоты. Оптимизация весов исходных признаков, входящих в комплексную оценку, производится исходя из описательных концепций или путем количественного обоснования.

2.1.2. Формирование комплексных оценок

Особо важным, исходя из назначения РГСЭМ, способом формирования параметров при описании территорий для ЛПР и экспертов, являются комплексные оценки, которые, зачастую, и более чувствительны к воздействию средовых факторов. По способам формирования интегральные оценки можно разделить на две группы. Первая группа - конструирование индексов $Y = Y(X_1, X_2, \dots, X_n)$, производимое из некоторых неформальных соображений, а вторая - "интегральные оценки", базируемые на значимых, в смысле соответствующего неформального критерия, например Фишера, или Новицкого-Зограф, регрессионных моделях вида "факторы среды - реакция индикатора". В последнюю группу могут входить, разумеется, и простые ("информативные") признаки X_n .

Формирование индексов

Экологический "индекс" $Y = Y(X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ - это результат свертывания информации об экосистеме, проводимый всевозможными способами. К данной группе относятся распространенные экологические индексы разнообразия, обилия, сходства. В работе [35] отмечается, что назначение индексов имеет прикладной характер - принесение необходимой информации для ЛПР. Показатели РГСЭМ могут интегрироваться. Различают [66] временную интеграцию - усреднение хронологических рядов; пространственную - в пределах территориальных единиц; межингредиентную - через получение индексов, нормированных на нормативы (ПДК, ПДУ или референтные уровни); межкомпонентную - отражающую оценку различных компонентов окружающей среды (например биопродуктивности, разнообразия, распространения индикаторных видов и др.); межвидовую, где объединяются различные (неструктуризованные) виды трансформации средовых компонентов, где основой интеграции может быть, например, стоимость (в рамках кадастрового картографирования).

Из наиболее простых (для поддержки ЛПП) и интерпретируемых индексов, отражающих межингредиентную интеграцию загрязнения природных сред, отметим комплексный индекс загрязнения атмосферы Z_a :

$$Z_a = \sum_{j=1}^n \left[\frac{q_r}{\text{ПДК}_{cc}} \right]_j^{c_j}, \text{ где } q_r - \text{среднегодовая концентрация } j - \text{примеси, } \text{ПДК}_{cc}$$

– среднесуточная ПДК, взвешивающий показатель $c_j = 1,7$ (для 1-го класса опасности); 1,3 (для 2-го); 1,0 (для 3-го); 0,9 (для 4-го).

Аналогично, комплексный индекс загрязнения воды Z_B , определяется:

$$Z_B = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \right], \text{ где } C_j - \text{концентрация } j - \text{вещества.}$$

Подобным же образом, комплексный индекс загрязнения почв Z_{II} :

$$Z_{II} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{C_j}{C_\phi} - (n-1) \right], \text{ где } C_j \text{ и } C_\phi - \text{измеренная и фоновая концентрации } j$$

– элемента, соответственно.

Для биоты также широко используют индексы: кратность прироста популяций $q_t = N_{t+1}/N_t$, где N - численность популяций во время $t+1$ и t ; подстилочно-опадочный коэффициент $K = M_n/M_o$, биосферный потенциал $\Pi = M (dM/dt)$ - произведение биомассы ценоза (т/га) на его продуктивность (т/га/год), и др.

Однако, несмотря на простоту, индексы обладают недостатками, носящими принципиальный характер. В отличие от коэффициентов регрессии, корреляции, моментов высших порядков функции распределения, они не учитывают ни вариабельность признаков, ни степень сопряженности между признаками. Так для средних X_{1cp} и X_{2cp} двух сопоставляемых признаков постоянство индексов соблюдается лишь при обычно редкой гомодинамичности, когда их отношения $X_{1cp}/X_{2cp} = R_{xy}$ и $X_{2cp}/X_{1cp} = R_{yx}$ равны коэффициентам регрессии [36]. Поэтому в ряде наук, имеющих давнюю традицию, индексы, как пройденный этап, выходят из употребления. Согласно работе [78] данные показатели также считают неадекватными целям оценки состояния экосистем из-за неопределенности интерпретации в терминах качества среды.

В работе [31] на основе подробного анализа различных подходов рекомендовано свертывать информацию не формальным усреднением, а выбором наиболее важных параметров и представлением их в удобном для интерпретации виде с помощью одной из простых функций желательности d_i , переводящих натуральные значения в безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. Полярные значения d_i соответствуют градациям "плохо" - "хорошо".

Примерами преобразований параметров y_i в числовую шкалу (0–1), широко используемых в экологии и санитарной гигиене, являются:

$$d_i = \frac{y_i}{y_s}, \text{ где } y_s - \text{эталонное (или максимальное) значение признака } y;$$

$$d_i = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}, \text{ где } y_{\min} \text{ и } y_{\max} - \text{экстремальные значения признака};$$

$$d = \begin{cases} 1, & \text{для } y_{\min} < y < y_{\max}, \\ 0, & \text{для } y < y_{\min} \text{ и } y > y_{\max} \end{cases}$$

где y_{\min} и y_{\max} - некоторые экстремальные "критические" значения отклика y , выход за пределы которых нежелателен.

Если желательно наиболее вероятное состояние, то d_i может иметь вид [37]:

$$d = \begin{cases} 2P, & \text{если } P < \frac{1}{2}, \\ 2(1-P), & \text{если } P > \frac{1}{2}, \end{cases} \text{ где } P - \text{"накопленная" вероятность реализа-}$$

ции события ($P \in 0; 1$).

Для задания шкал употребляют функции желательности, имеющие критические точки границ желательности, например функцию Харрингтона:

$d_x(y') = \exp[-\exp(-y')]$, где y' - кодированное значение признака. Шесть точек задают интервалы желательности: "очень хорошо" (1,00-0,80), "хорошо" (0,80-0,63), "удовлетворительно" (0,63-0,37), "плохо" (0,37 - 0,20), "очень плохо" (0,20-0,00). Однако такая шкала вводится чисто субъективно.

Другим важным видом функции желательности, обобщающим функцию Харрингтона является "функция двойной экспоненциальной плотности":

$$g_{a,\lambda}(y') = \{\lambda/\Gamma(\alpha/\lambda)\} \cdot \exp[-\alpha y' - \exp(-y')];$$

где λ и α положительные параметры, $\Gamma(\alpha/\lambda)$ - гамма-функция Эйлера. Среднее значение функции $g_{a,\lambda}(y')$ равно: $-\ln \Gamma(\alpha/\lambda) / \lambda$, а мода $g_{a,\lambda}(y')$ равна: $-\ln(\alpha/\lambda) / \lambda$. В отличие от $d_x(y')$ функция $g_{a,\lambda}(y')$ может обеспечить резкий спад в правой части. Множитель $\lambda/\Gamma(\alpha/\lambda)$ предназначается для нормировки $g_{a,\lambda}(y')$:

$$\int_0^{\infty} g_{a,\lambda}(y') d(y') = 1.$$

Нормировка $g_{a,\lambda}(y')$ позволяет ее интерпретацию как плотности случайной величины; быстрый спад делает "рабочими" ограниченные участки: (0- y'). В демографическом численном эксперименте $g_{a,\lambda}(y')$ служит как стандартная блочная основа математических моделей [284].

Другой функцией желательности является функция Пена-Менчера [38]:

$$d = \exp(-(y')^n), \quad y' = \left| \frac{2y - y_{\max} - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right|, \quad n \geq 0.$$

Для вычисления n указывается произвольная точка на кривой:

$$n = \frac{\ln \ln(1/d_i)}{\ln y'_i}.$$

В многомерном случае вводят обобщенную функцию желательности D , например, в виде средней геометрической [38]:

$$D = \kappa \sqrt{\prod_{i=1}^N d_i^{\alpha_i}}, \quad K = \sum_{i=1}^N p_i, \quad \text{где } d_i - \text{частная функция желательности, } p_i - \text{вес } i\text{-го показателя } (0 < \alpha_i < 1), N - \text{число показателей.}$$

го показателя ($0 < \alpha_i < 1$), N - число показателей.

Отметим, что введение весов по значимости компонентов – это неформальная процедура, вводящая субъективный фактор в решение задачи.

Формирование интегральных оценок

Ниже под интегральными оценками в задачах РГСЭМ будем понимать индикаторы, являющиеся откликами значимых регрессионных моделей обусловленности экологического состояния территорий факторами среды. Такими интегральными оценками, например, являются отклики –в формулах "Факторы среды–социальное здоровье населения" [39, 40]. Создание подобных оценок, полученных в невербальных моделях, дает возможность произвести, например, поддержку задач нормирования – путем введения числа шкал отклика Y , "обоснованного качеством регрессионной модели", в смысле некоторого функционала N_s . Создание оценок экологического состояния территорий проводится по векторной выборке $Y = Y(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T \in \mathfrak{R}^p$. Здесь вектор отклика Y , обусловленный системой векторов – регрессоров $\{\Phi_n\}$ в уравнении:

$Y = \{\Phi_n, a\} + \varepsilon$, где a - коэффициенты регрессии, ε - вектор невязки. При ортогональных векторах $\Phi_n \in \mathfrak{R}^p$ их система в данном случае интерпретируется как факторы среды, определяющие отклик. Каждый фактор имеет "обоснованную моделью" вклад (долю дисперсии отклика), а оценка Y имеет шкалу, обоснованную некоторым внешним, по отношению к задаче, критерием N_s . В качестве отклика Y выбираются некоторые реакции индикатора (из числа отслеживаемых областными службами Y_k), их комбинации, или функционалы Q_j (интегральные оценки), а в качестве факторов воздействий - принимается векторная выборка признаков X_k , или их комбинаций, например показатели заболеваемости населения, и строятся модели $Q_j = Q_j[X_k]$ "Факторы среды - реакция индикатора". Формирование интегральных оценок проводится "с обеих сторон" уравнения:

- создаются векторы – предикторы модели, как оценки обобщенных факторов в верифицированной (по внешним критериям) модели. Сформированные для ЛПР оценки-факторы (например "экологический", "социальный", "климатический"), включают показатели X_k , отслеживаемые ведомствами, которые должны входить в сетевые базы данных РГСЭМ.

- агрегируются показатели в интегральные оценки Q_j и их верификация в значимых (по внешним критериям) моделях.

Ниже в задачах РГСЭМ рассмотрены интегральные оценки Q_j как индикаторы экологического состояния территорий – отклики регрессионных моделей, так и комплексные оценки совокупностей X_k – факторы среды Φ_n .

2.2. Районирование региона в задачах РГСЭМ

Проведение РГСЭМ предполагает типизацию региона, с организацией соответствующей сети полигонов регионального фона и импактных зон. Согласно

оценкам работы [43] на каждые 100 000 кв. км по программе глобального мониторинга следует иметь 2-3 региональные фоновые станции. Кроме того, для проведения оптимального "экологического районирования" необходим учет опыта типизаций в других регионах.

Так в Польше типизация основана на геоботаническом анализе ландшафтов. Таксоны делятся на «биогеографические» и с «актуальным преобразованием окружающей среды» [44 – 46] и в основе типологии лежат совокупности экосистем - «ландшафтные биокомплексы». Таксоны характеризуются растительностью, отражающей два фактора - местообитание и воздействие человека.

В Болгарии территория типизирована на четыре биоклиматические зоны [47] (согласно работе [43] на три), находящиеся на разной высоте над уровнем моря, с разным рельефом и климатом; каждой развертывают полигон фитопопуляционного фонового мониторинга, располагаемый внутри заповедников.

В Чехии [48] типизация территорий поэтапна. Вначале выявляют структурно-однородные территории по физико-географическому, социально-экономическому факторам, антропогенному воздействию и определяют однородные географические единицы. На втором этапе создается сеть ключевых участков, с экстраполяцией состояния экосистем на более крупные таксоны. Состояние экосистем сопоставляется с фоном. Биодиагностика окружающей среды ведется по критериям (на популяционном и индивидуальном уровнях).

В урбанизированной Московской области районирование в задачах управления предлагается проводить в типологии природно-ресурсного и социально-экономического потенциала по семи таксонам [49]. Их различия обусловлены геологическими особенностями, климатом и социально-экономическими условиями и, как следствие, степенью преобразования природной среды в каждой из данных эколого-экономических систем.

2.2.1. Формальные подходы к типизации территорий региона

Региональные системы наблюдений за природной средой, ресурсами, хозяйством и социумом односторонни - у них нет единства по пространственному, параметрическому, хронологическому, экспертно-аналитическому, организационному аспектам мониторинга. Это приводит к неадекватности оценки ситуации по всему комплексу аспектов состояния и развития региона, и, в итоге, принятию управленческим звеном неоптимального или неправильного хозяйственного или природоохранного решения, что, в конечном итоге, ведет к высоким издержкам для региона. Природная среда, ресурсы, хозяйство имеют региональную специфику, что при организации РГСЭМ требует анализа структуры всего комплекса местных условий по всему региону. Центральной проблемой становятся районирование региона по структурно-однородным субрегиональным единицам, позволяющее по в них состоянию природно-хозяйственного комплекса, ресурсов, биоты, антропогенных воздействий, социума и общественного здоровья проводить оценки территорий и делать прогнозы. Минимизация стоимости работ на ключевых участках требует представления региона минимумом однородных таксонов.

В требования к подсистемам ЕГСЭМ [1] входит понятие "Информационного портрета экологической обстановки" (ИПЭО). Согласно работе [50] экологическая ситуация (сочетание природных условий и факторов воздействий) рассматривается для конкретного региона в виде устойчивой пространственной структуры. Районирование региона (создание ИПЭО для экспертов и ЛПП) как оценка этой структуры, проводится, например, биогеоценотической таксономией или методами распознавания образов. Методы районирования территории чрезвычайно разнообразны, однако в частоте их использования есть определенная закономерность. По данным работы [51] за период 1970-1987гг. в большинстве случаев для типизации (63%) употреблялось выделение районов методом индивидуальной экспертной оценки (метод логического членения территории). За ним следуют методы ведущего фактора (13%), автоматической классификации – кластерного анализа (9%), и сопряженного анализа карт (7%). Все многообразие остальных методов (метод трещин, анализ текстуры космических снимков, коллективная экспертиза, Q-метод факторного анализа, линейное программирование, ландшафтно-типологический анализ, метод теории графов и др.) встречается лишь в 12% случаев.

После определения структурно-однородных территориальных таксонов, в каждом из них при организации РГСЭМ разворачивается полигон регионального фона, помещаемый в центр динамических скоплений, где по критериям (био)диагностики на разных уровнях (организмов, видов, популяций, биогеоценозов), дается оценка окружающей среды.

Поскольку целью РГСЭМ является поддержка ЛПП и экспертов, готовящих критерии альтернатив выбора решений, то крайне актуальны методы интегральных оценок территории, представляющие многомерные данные в двух измерениях (дисплейные методы). Наиболее адекватными задаче типизации территории являются методы представления на дисплее - линейные (проекции) и нелинейные (преобразования), с последующим отображением обобщенных показателей на географических картах.

При оценке территорий разнообразие сочетаний естественной дифференциальности местообитаний и воздействий человека описывается моделью p территорий в пространстве \mathfrak{R}^p , с показателями $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T \in \mathfrak{R}^p$. Комплексные оценки территорий (типизация) и факторов воздействия (в интерпретации для ЛПП в широком смысле - природном, антропогенном, социальном) полагают обнаружение упорядоченных структур в пространствах параметров и территорий, и уменьшение размерностей X_n – решение задачи таксономии в методах распознавания образов. Неполнота системы признаков $X_n \in \mathfrak{R}^p$ полагает включение в модель их максимального числа, с последующим взвешиванием и элиминацией; избыточность снижается проецированием пространства n признаков в новое пространство m кластеров ($m < n$); различная информативность X_n требует неформальной оценки весов признаков.

В работе приняты следующие допущения:

- оценки территории описываются регрессионной моделью:

$Y = \{q_k(X_n), a\} + \varepsilon$, где Y - $p \times 1$ вектор оценок состояния окружающей среды j -территорий, $q_k(X_n)$ - $p \times n$ матрица независимых (в задаче регрессии) переменных, a - $1 \times n$ вектор параметров регрессии, ε - $p \times 1$ вектор невязки.

- на вектор \mathbf{a} не накладывается никаких ограничений;
- вектор $\boldsymbol{\varepsilon} \in \mathfrak{R}^p$, причем математическое ожидание $M(\boldsymbol{\varepsilon}) = 0$.
- полнота системы показателей X_n определяется качеством регрессионной модели по критерию Фишера и, дополнительно, по энтропийному χ^2 -критерию Новицкого – Зограф [52], устанавливающему число градаций отклика Y ;
- основная избыточность признаков устраняется первым этапом кластерного анализа ("перекрестной таксономии") - переходом в новое пространство m -кластеров $q_k(X_n)$ и оставшихся "независимых" показателей X , ($m < n$);
- вес i -признака X (или кластера векторов $q_i(X_n)$ на t -этапе задается числом ребер графа связей $(t-1)$ -этапа в процедуре группировки объектов.

Преимущества "кластерно – регрессионного" подхода – значительное сокращение размерности модели; дискриминация регрессоров по количественному критерию (факторы $q_i(X_n)$ элиминируют по вкладу в отклик Y); отсутствие мультиколлинеарности при «достаточной» ортогональности аргументов $q_i(X_n)$, с оценкой их остаточных корреляций по критерию Стьюдента при $t > 2$.

Численная таксономия в задаче территориальной типологии

При типизации территории региона в задачах РГСЭМ (n признаков и p территорий) характерен неудобный для моделирования момент: $n \gg p$, обусловленный необходимостью включения в модель максимального числа первоначальных признаков $x_n \in \mathfrak{R}^p$ (так например, в данной работе $p = 14; 24; 40$, а признаков – использованы сотни). Поэтому требуется поэтапное создание иерархических классификаций «перекрестная таксономия» – вначале кластеров признаков $q_i(X_n) \in \mathfrak{R}^p$, а затем - кластеров территорий $U\{q_i(x_n), x_n\}$, сформированных по кластерам признаков.

В работе для свертывания размерной информации, предварительно из признаков $x_n \in \mathfrak{R}^p$ конструировались безразмерные индексы $X_n \in \mathfrak{R}^p$: $X_n = (X_1, X_2, \dots, X_n)$. Преобразование изначальных параметров $x_n \in \mathfrak{R}^p$ проведено в сигмальные числовые шкалы, легко интерпретируемого вида:

$$X_i = \frac{x_i - [x_{\text{сред}}]}{\sigma}, \text{ где } x_{\text{сред}} - \text{среднее значение признака, } \sigma - \text{средне-}$$

квадратичное отклонение. Ниже везде под знаком подразумеваем индекс.

В данной работе на каждом v - шаге агломерации векторов формировался кластер - вектор с компонентами из взвешенных по числу ребер графа связей значений векторов (кластеров) предыдущих этапов.

В задаче таксономии могут использоваться различные подходы [17]; в данной работе использовались, в основном, два из них.

1. Формальная схема факторного анализа, где по близости элементов корреляционной матрицы $W = [\rho_{ij}]$, объединяются векторы X_n , путем формирования факторов f_j (пучка векторов - "центроидов") [53], с "обращением" отрицательных элементов или без него:

$$X_n = \sum_j l_{ij} f_j + \varepsilon_i, \text{ где } l_{ij} - \text{нагрузка } j\text{- фактора по } i\text{-переменной, } \varepsilon_i - \text{остатки.}$$

Взвешивание X_n по числу элементов на каждом ν -шаге определяет нелинейность преобразования в новые переменные $q_i(X_n)$. Участок с резким спадом B -коэффициента: $B = \rho_I / \rho_\Sigma$, где ρ_I и ρ_Σ - соответственно, средние коэффициенты корреляции элементов одной группы и элементов группы с остальными переменными, является критерием, определяющим качество классификации.

2. Расчет дистанций R_m (или R_e) в пространствах признаков и территорий с применением метрик Махаланобисского типа:

$R_m^2 = \langle d_i | \Lambda^T W^{-1} | d_i \rangle$, где W^{-1} - матрица, обратная ковариационной, или корреляционной (для системы X_n , с $M = 0$, $\sigma = 1$), d - вектор средних расстояний между X_n для двух групп, Λ^T - симметричная матрица весов (диагональная, неотрицательно-определенная). В ортогональном базисе показателей X_k :

$R_e^2 = \langle d_i | \Lambda^T \delta | d_i \rangle$, (метрика Евклида), где δ - матрица Кронекера.

Первый этап перекрестной таксономии – группировка признаков в кластеры $q_i(X_n)$. Этап предназначен для снижения избыточности пространства n признаков и позволяет строить дендрит векторов X_n , объединяемых в кластеры все более высокой общности по критерию минимума расстояния R_m^2 в пространстве p -территорий \mathfrak{R}^p . Первый этап позволяет:

1. Классифицировать показатели, выделить близкие признаки, в смысле обобщенного расстояния R_m , R_e , (или коэффициента корреляции ρ_{ij}).

2. Получить m – удаленных (по R_m , R_e или ρ_{ij}) кластеров $q_i(X_n) \in \mathfrak{R}^p$, интерпретируемых как комплексные оценки территории ($m \ll n$).

3. Рассматривая $q_i(X_n)$ как векторы, использовать их в последующих моделях как регрессоры конкретной задачи.

4. Установить связь между X_n , входящими в кластер $q_i(X_n)$ в задаче регрессии (поскольку признаки X_n статистически близки).

Второй этап - агрегация субтерриториальных единиц в кластеры территорий по независимым векторам X и кластерам параметров $q_i(X_n)$. Он предназначен для задач территориальной организации РГСЭМ. Строится дендрит классификации p векторов территорий, объединяемых в кластеры в пространстве m переменных \mathfrak{R}^m , что дает возможность получить w – "независимых" типологических единиц территорий $U\{q_i(X_n), X_n\}$ ($w \ll p$). Переход из пространства \mathfrak{R}^n в пространство кластеров \mathfrak{R}^m ($m \ll n$) позволяет вводить веса $q_i(X_n)$ в процессе формирования территориальных таксонов $U\{q_i(X_n), X_n\}$ - взвешивать кластеры $q_i(X_n)$, по числу объединяемых векторов X , а также использовать «грубую» метрику R_e^2 , взвешивая кластеры $q_i(X_n)$ числом одинаковых векторов $q_i(X_n)$, пропорционально их весу $P^{(m)}$.

Проверка статистической гипотезы о достоверности классификации выходит за рамки модели. Контроль ее качества, согласно работам [16,17], можно провести через априорные по отношению к задаче функционалы $Q(S)$: отношение $Q_1(S) = (R_m/R'_m)^2$, где R_m и R'_m дистанции разных шагов, взвешенную сумму внутриклассовых дисперсий $Q_2(S)$, сумму попарных внутриклассовых расстояний между элементами: $Q_3(S) = \sum_i \sum_{X_i} d^2(X_i, X_j)$.

Для оценки удачности выбора алгоритма (метрики пространств признаков/объектов) в данной работе использованы бутстреп-методы [22], использующие процедуры численного ресэмплинга, имитирующего взятие новых выборок

(путем многократного случайного выбора объектов исходной выборки методом Монте-Карло). Так для исходного параметра - оценки среднего выборки, содержащей n наблюдений X_i ($i=1,2,\dots,n$), вычисляются средние для каждой их бутстреп-выборок, с последующим вычислением среднего и дисперсии для совокупности бутстреп-средних. Оценка среднего $E(X_{cp})$ несмещенная $E(X_{cp}) = M$, а оценка дисперсии $\text{Var}(X_{cp})$ несколько смещена $\text{Var}(X_{cp}) = \sigma^2(n-1)/n$. Преимуществом бутстреп-метода является ненужность гипотез о виде исходных распределений. Если при оценке качества разбиения на два класса доверительные бутстреп-интервалы выборок не перекрываются, то различие средних достоверно.

Базовой моделью описания территорий является решение задачи регрессии на соответствие функции отклика $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$ регрессорам $\{q_i(X_n), X_n\}$:

$$Y = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a \rangle + \varepsilon^{(1)},$$

где a - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(1)}$ - вектор невязки первого этапа регрессии. Тренд-вектор $e = (Y - \varepsilon^{(1)})$, в соответствии с составом регрессоров субмодели, интерпретируется как обобщенный фактор задачи (например e_e - "экологический", e_s - "социальный", e_c - "климатический" и др.).

Формирование такого базиса e_s, e_c, e_e снижает размерность задачи и далее регрессия отклика Y проводится по тренд векторам $(e)_k$:

$$Y = \{e, \beta\} + \varepsilon^{(2)},$$

где β - вектор коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(2)}$ - вектор невязки. Коэффициент множественной детерминации R_{yy}^2 определяет "объяснимую" дисперсию D_y :

$$D_y = 1/N \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 = (\beta_1 e_{1j} + \beta_2 e_{2j} + \beta_3 e_{3j} \dots + \xi_j^1)^2.$$

Для ортонормированных векторов $(e_j)_k$ получим: $\sum (\beta_k^2 + D_{\xi_1}) = 1$, где D_{ξ_1} - дисперсия вектора остатков регрессии. Вес k -го фактора P_k - доля обусловленности отклика регрессором. В данной работе погрешность веса фактора ΔP , слагаемая из погрешности ΔP_1 коэффициента регрессии и ошибки ΔP_2 за счет остаточных корреляций ρ_{ik} векторов, оценивалась в статистике с треугольной функцией распределения. При наличии значимых ρ_{ik} для регрессоров $(e)_k$ это требует возвращения на первый этап - поиска дополнительных X_n и их перераспределения при агломерировании в новые кластеры $q_i(X_n)$.

Зачастую в линейных моделях описания территорий оценки весов факторов $\{P \pm (\Delta P_1 + \Delta P_2)\}$ незначимы вследствие достаточно больших значений $\Delta P/P$, что снижает ценность моделей до минимума. Поэтому "достаточная" для задач регрессии ортогональность обеспечивается при переходе от X , или $(e)_k$ к ортонормированному базису - главным компонентам $G^{(h)}(X_n) = \sum w_i^{(h)} X_n$, где $w_i^{(h)}$ - компонентная нагрузка i -признака в h - компоненте. Согласно работе [168] данный путь уменьшает смещение оценок, делая их более устойчивыми.

Показатели X_n , стандартизованы ($M=0, \sigma^2=1$), и поэтому $G^{(h)}(X_n)$ представляют факторы. С учетом, того, что вектор средних $M(X_n)=0$, то разброс значений фактора $G^{(h)}(X_n)$ на векторной выборке $X_n \in \mathbb{R}^p$, определяющий его информативность $S(X_n)$ будет:

$$N$$

$$N$$

$$S(X_n) = \sum_{n=1} \{G^{(h)}(X_n), X_n\} / \sum_{n=1} \{G^{(h)}(X_n), G^{(h)}(X_n)\}.$$

Поэтому выделялись главные факторы $G^{(h)}(X)$ векторных выборок X_n - особенно первый $G^{(1)}(X)$, с максимальным весом $S(X_n)$ и лучше всех объясняющий дисперсию. В ряде случаев соотношение нагрузок $w_i^{(h)}$ (без варимаксного вращения) допускает содержательную интерпретацию векторов $G^{(h)}(X)$. Так например, кроме первых главных факторов $G^{(h)}(X)$ в задаче оценки территорий важны и последние $G^{(h)}(X)$, для которых:

$$\sum_{n=1}^N \{G^{(h)}(X_n), X_n\} \approx 0.$$

Если при этом $\forall w_i^{(h)} \approx 0$, кроме $w_i^{(h)}$ для некоторых двух-трех векторов X_n , то последние наиболее устойчивы (инварианты данной задачи).

Поскольку небольшое число n_k компонент вбирает большую часть дисперсии векторной выборки X_n , то за критерий элиминации K_3 компонент взято превышение доли суммарной дисперсии над задаваемым порогом δ :

$$K_3 = \sum_i^n \lambda_h / \sum_i^{n_k} \lambda_h > \delta, \text{ где } \lambda_h - \text{ дисперсия } h - \text{ главной компоненты.}$$

Для отбраковки регрессионных моделей по статистической значимости R_{yy}^2 используется критерий Фишера: $F = (n/m - 1/m - 1)R_{yy}^2 / (1 - R_{yy}^2)$. Однако, в ряде задач РГСЭМ требуется обоснование числа градаций шкалы N_s отклика Y .

Для измерения информативности показателей разработана система понятий и аппарат анализа, использующие энтропийный подход. Так в работе [52] для задач регрессии разработан критерий – интервальная оценка «энтропийная погрешность» количественных данных γ_3 , определяемая значением R_{yy} . При этом число градаций шкалы N_s модели $Y = \{a, X\} + \varepsilon$, будет:

$$N_s = 0,5 / \gamma_3 = 0,5 \cdot [(1 - R_{yy}^2) / 3]^{-0,5}.$$

При $R_{yy} = 0,9$, $\gamma_3 > 25\%$, интервал неопределенности данных $2\gamma_3 > 50\%$, занимая более половины диапазона Y . Это позволяет при $R_{yy} < 0,96$ различать лишь две градации Y ($N_s = 2$), при $R_{yy} = 0,98$, $N_s = 4$ и т.д. Требование оценки моделей по γ_3^2 -критерию весьма "жесткое" поскольку для $R_{yy} < 0,9$ (при $N_s < 2$) решение регрессионной задачи неудовлетворительно и, поэтому, получение $R_{yy} > 0,9$ требует чаще всего нелинейных моделей. Достоинство информационного подхода еще и в том, что размер энтропийного интервала неопределенности результатов (а с ним и числа градаций N_s) может быть математически строго установлен для любого закона распределения, без каких либо предположений об уровне доверительной вероятности.

После оценки весов факторов элиминируют незначимые X_n ($t < 2$), а из оставшихся формируют нелинейную модель, например, полиномиальную:

$$Y = \{F(X_n), a\} + \varepsilon^{(1)}.$$

Для оценки весов P_k далее решается задача линейной регрессии:

$$Y = \{e, \beta\} + \varepsilon^{(1)},$$

где e_n - векторы трендов факторов нелинейной модели $Y = \langle F(X_n) | a \rangle$, $\varepsilon^{(1)}$ - вектор невязки (первого этапа модели).

Следующий этап - построение нелинейных моделей вида:

$$Y = \{\Phi[F(X) \mathbf{a}, c\} + \varepsilon^{(2)},$$

где $\Phi_k[F(X) \mathbf{a}]$ - векторы функций тренд-векторов нелинейных моделей предыдущего этапа. По совокупности регрессоров, полученных в нелинейных моделях, строится линейная модель следующей ступени, с оценками весов факторов. Отклики Y обобщенных факторов e_k ("экологического", "социального") с высоким весом P , при малой погрешности, будут маркерами e_k .

В ряде случаев применялись нелинейные по параметрам модели, с использованием «функций желательности» Харрингтона и Пена-Менчера.

2.2.2. Районирование территорий в пространстве экологических связей

Экологическое районирование территорий основано на наличии пространственной неоднородности окружающей природной среды и являясь распознаванием образов, может проводиться и экспертным путем и в формальных процедурах. В настоящее время нет единой концепции его проведения, особенно в форме "интегрального" а не отраслевого районирования", отсутствует единство в базовом понятии экологического района, а также в подходах по оптимизации числа признаков, "информативных по измеряемому явлению" [51]. Последний вопрос ставят вследствие отображения конкретным показателем не только измеряемого фактора, а и многих других явлений, а также "глушения" информативных признаков менее информативными.

Таким образом, районирование по системе из m векторов $Z_j \in \mathfrak{R}^p$, где $j \in (1, m)$ является задачей таксономии и для учета разной информативности индикаторов, требует привлечения априорных сведений.

Поставим задачу районирования следующим образом. Понятие признаков, "информативных по измеряемому явлению", полагает наличие двух групп – системы, состоящей из m матриц параметров (факторов) окружающей среды и соответствующих их признаков X , и векторной выборки из m индикаторов состояния территорий Y , причем понятие "информативных" полагает наличие высокой корреляции в каждой ij -связи индикатора и маркера фактора: $Y = Y(X)$. Общее число связей составляет mn и решая mn соответствующих регрессионных задач, объединим обе группы признаков единой системой уравнений. Тогда характеристики информативности индикаторов в задаче районирования содержатся в матрице связей всех mn моделей $Y = Y(X)$ (например коэффициентов множественной детерминации $A_c = \| R_{ji}^2 \|$).

Исходные положения алгоритма взвешивания признаков Y следующие.

а) Все показатели территорий региона, состоящего из p -субтерриториальных единиц, делят на две группы – матрицы характеристик средообразующих факторов (в том числе экзогенных) и вектора индикаторных признаков. Таким образом, территория региона характеризуется:

- n векторами индикаторных признаков $Y_j \in \mathcal{R}^p$, где $j \in (1, n)$;
- m матрицами "средообразующих" признаков $Q_i \in \mathcal{R}^p$, $i \in (1, m)$.

б) Считаем достаточной систему индикаторных признаков Y_j для экологической характеристики территории и, тем самым, для районирования региона в задаче таксономии по векторам $Z = rY$, где $Z \in \mathcal{R}^p$, r – вектор вкладов индикаторов в оценку, Y - матрица индикаторных оценок.

Таким образом, задача районирования региона сводится к нахождению весового вектора r , что производится в три этапа.

На первом этапе (аналитическом) создаются системы признаков Y_j и Q_i (используются натуральные параметры, индексы, кластеры, главные компоненты, факторы показателей и др.). Далее конструируются всевозможные модели вида: "состояние окружающей среды Y_j – факторы воздействия Q_i ", для каждой из которых оценивается показатель связи, например коэффициент множественной корреляции R_{ji} . Подходы первого этапа описаны в главе 2.

На втором этапе– признаки (модели Y_j) переводят в порядковую шкалу – "оценивают" системами регрессоров – матрицами Q_i . После этого, по аналогии с экспертными методами (ранг ij -модели, измеряется в порядковой шкале) определяются веса индикаторных признаков в виде суммы рангов, а также оценивается степень согласованности моделей по коэффициенту конкордации.

Альтернативным подходом к взвешиванию индикаторных признаков является задача таксономии по исходным данным – матрице рангов ij -моделей.

На третьем этапе– регион районировать по векторам $Z = rY$.

Рассматривая индикаторные признаки Y_i как отклики, а Q_j как матрицы предикторов, регион можно описать регрессионными моделями вида "состояние окружающей среды – факторы воздействия": $Y_j = Q_i a_i + \varepsilon_i$, где a_i – i -вектор параметров, $\varepsilon_i \in \mathcal{R}^p$ – вектор невязки j -модели. Общее число всех моделей составляет $n \times m$; степень связи переменных в каждой характеризуется коэффициентами множественной корреляции R_{ij} и детерминации и R_{ij}^2 .

Число градаций шкалы N_s модели, согласно χ^2 критерию определяется: $N_s = 0,5 \cdot [(1 - R_{ij}^2)/3]^{-0,5}$, и чтобы отклик Y_j отражал действие факторов Q_i , качество модели по χ^2 должно быть высоким, позволяя шкалирование Y_j (см. табл. 2.1). Коэффициент детерминации R_{ji}^2 , с логистическим видом, в зависимости от числа градаций N_s отклика Y_j может служить функцией желательности для перевода натуральных значений в числовую (порядковую) шкалу.

Согласно табл. 2.1. ординаты R_{ji}^2 задают пять стандартных отметок на шкале. Поскольку данная шкала привязана к χ^2 -критерию, то имеет, соответственно, и содержательную интерпретацию. Здесь естественно потребовать нормального распределения частот рангов моделей, с тем, чтобы их максимум в данной задаче приходился на бин $f_{ji} = 3$ (что соответствует $R_{ji} = 0,92$).

Таблица 2.1

Интервал и оценка желательности для данного числа шкал N_s и параметров регрессии - коэффициента корреляции R_{ji} и детерминации R^2_{ji}

N_s	Интервалы R_{ji}	Интервалы R^2_{ji}	Ранг f_{ji}	Оценка желательности
–	$0 \div 0,5$	$0 - 0,25$	1	"очень плохо"
1÷2	$0,5 \div 0,901$	$0,25 - 0,813$	2	"плохо"
2÷3	$0,901 \div 0,957$	$0,813 - 0,917$	3	"удовлетворительно"
3÷4	$0,957 \div 0,976$	$0,917 - 0,953$	4	"хорошо"
>4	$> 0,976$	$0,953 - 1,0$	5	"очень хорошо"

Поэтому приведенные интервалы R^2_{ji} предъявляют высокие требования к средним значениям R^2_{ji} , т.е. к качеству моделей. При моделях с низкими R^2_{ji} необходима иная шкала градаций откликов, с границами, заданными либо неформально, либо с менее "жестким" функционалом качества регрессионной модели - например, задавая интервалы значений критерия Фишера:

$$F = (m/n - 1/n - 1)[R_{yy}^2 / (1 - R_{yy}^2)].$$

"Экспертный" подход в оценке весового вектора

Данные численного моделирования - коэффициенты множественной детерминации R^2_{ji} и коды признака (ранги моделей f_{ji}) заносят в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Описание региона регрессионными моделями вида
"состояние окружающей среды – факторы воздействия"

Отклик модели	Коэффициенты R^2_{ji} и ранги моделей f_{ji} для систем регрессоров							
	Q_1		Q_2		...		Q_n	
Y_1	R^2_{11}	f_{11}	R^2_{12}	f_{12}	...	...	R^2_{1n}	f_{1n}
Y_2					...	...
...						
Y_m	R^2_{m1}	f_{m1}	R^2_{m2}	f_{m2}	...	...	R^2_{mn}	f_{mn}

В табл. 2.2. каждому значению R^2_{ij} соответствует f_{ij} – ранг ij – модели, измеренный в порядковой шкале. Территория региона, с индикаторными признаками – векторами Y_j районирована по системе векторов $Z = r_{cp} Y_j$, где r_i – суммы рангов, полученных индикаторным признаком Y_j в m – моделях. Сумма рангов, оценивающая j – индикаторный признак определяется:

$$r_j = \sum_{i=1}^n (f_{ij}).$$

Величина средней суммы рангов $[r_j]_{cp}$ по всем наборам регрессоров:

$$[r_{cp}] = \sum_{j=1}^m (r_j / m);$$

а величина отклонения суммы рангов $d_j = [r_j]_{cp} - r_j$.

Для оценки степени согласованности моделей (по их рангам) можно использовать коэффициент конкордации ζ [21]:

$$\zeta = \frac{12 \sum_{j=1}^m d_j^2}{(m^3 - m)n^2 - n \sum_{i=1}^n T_i};$$

где величина T_i учитывает связанные (равные) ранги и рассчитывается по формуле:

$$T_i = \sum_{e=1}^{n^*} (t_e^3 - t_e);$$

где n^* – количество групп равных рангов, t_e – количество равных рангов в группе. Коэффициент конкордации моделей ζ принимает значения (0..1) и определяет их согласованность. Уровень значимости коэффициента ζ для числа степеней свободы $k_l = m-1$ определяется по критерию χ^2 [21].

Оценка весового вектора в задаче таксономии

Как уже говорилось, другим способом взвешивания индикаторных признаков является проведение таксономии на показателях связей, как исходных данных, например, коэффициентах детерминации матрицы $\mathbf{A}_c = \|\mathbf{R}_{ji}^2\|$ или матрицы рангов моделей: $\mathbf{A}_p = \|\mathbf{f}_{ji}\|$. Использование \mathbf{f}_{ji} в качестве исходных данных для таксономии и переход к кодированным значениям с помощью функции желательности, предпочтительнее, по соображениям интерпретации.

Расчет дистанций R_m в пространствах рангов моделей проводится с применением любых метрик, выбор которых выходит за формальные рамки задачи, например Махаланобисского типа: $R_m^2 = \langle d_i | \mathbf{\Lambda}^T \mathbf{W}^{-1} | d_i \rangle$. Агломерацию можно проводить и по схеме факторного анализа путем формирования центроидов. Каждая из двух иерархических классификаций (признаков и индикаторов) выполняет свою задачу:

1. Объединение признаков Q_i , позволяет получить кластеры регрессоров ("экспертов"), сформированных по оценкам индикаторов, оценить их согласованность по описанию факторов среды, выделить группы, дающие отличные от других результаты – оценить "компетентность экспертов" Q .

2. Объединение индикаторов, позволяет установить весовые вклады индикаторов для третьего этапа, сформировав M_g кластеров признаков ($M_g \ll m$) для альтернативного районирования. Число кластеров признаков выбирается расщеплением дендрита связей на априорно-заданном уровне. В каждом кластере сумма рангов, оценивающая j – индикаторный признак определяется:

$$r_j = \sum_{j=1}^n (f_{ij}) .$$

При таксономии по кластерам регрессоров, дополнительно в весовую функцию можно включать и вклады регрессоров.

В каждом полученном кластере находится вектор, соответствующий центру кластера Y_{j0} . Пусть кластер включает группу из h - индикаторных признаков Y_j ($h < m$), и координаты вектора Y_{j0} соответствуют координатным центрам. Тогда в той же метрике находятся h - обобщенных расстояний $R^2_{(m)j}$ между всеми векторами и центральным вектором Y_{j0} . Величины, обратные этим дистанциям $R^2_{(m)j}$, будут вкладами весового вектора данной альтернативы для районирования региона. Тогда в каждой группе суммарный индикаторный признак $Y_{s(h)}$ выразится :

$$Y_{s(h)} = \sum_{j=1}^h Y_j \frac{1}{R^2_{(m)j}} \Bigg/ \sum_{j=1}^h \frac{1}{R^2_{(m)j}} ;$$

Основное преимущество кластерного подхода, по сравнению с предыдущим - "экспертным", в том, что он позволяет, помимо оценки весового вектора, получить дополнительную информацию - провести классификацию индикаторных признаков по величине экологических связей с факторами среды. Каждая h -взвешенная групповая альтернатива $Y_{s(h)}$ отражает свою систему - совокупности факторов окружающей среды. Ареалы индикаторного признака, "информативного по совокупности измеряемых явлений" получаются в процессе картографирования данной комплексной оценки.

2.2.3. Веса факторов в экологическом районировании

При районировании территорий в задачах РГСЭМ встает вопрос о взвешивания признаков X_n с учетом весов действия факторов, что представляет известную трудность. Веса признаков обычно определяют в неформальных процедурах, с привлечением априорной информации.

Однако, в конкретной задаче, при наличии индикаторного отклика на воздействия Y , районирование можно провести, переходя от изначальных факторов X_n в пространство новых переменных, например главных компонент $G^{(n)}(X_n)$. Тогда проблему учета весов можно свести к формированию весового вектора $\Lambda = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, с компонентами, равными долям дисперсии S_i отклика Y в задаче регрессии, а районирование территории по действию факторов проводить в смысле некоторого "обучающего" вектора Y . Таким образом, в задаче выбираются маркеры факторов (векторы показателей ведомств) как регрессоры задачи, а также некоторый отклик задачи (вектор индикаторных признаков, кластер показателей и т.д). Моделью описания территорий является задача регрессии на соответствие функции отклика $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$ регрессорам X_n :

$$Y = \{X_n, a\} + \varepsilon^{(1)},$$

где \mathbf{a} - вектор коэффициентов регрессии, $\boldsymbol{\varepsilon}^{(1)}$ - вектор невязки. Смена \mathbf{X}_n на ортонормированный базис – нормированные главные компоненты (главные факторы) $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n) = \sum \mathbf{w}_i^{(n)} \mathbf{X}_n$, где $\mathbf{w}_i^{(n)}$ - компонентная нагрузка i -признака в n – компоненте, позволяет перейти к другой задаче регрессии:

$$\mathbf{Y} = \{\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n), \boldsymbol{\beta}\} + \boldsymbol{\varepsilon}^{(2)},$$

где $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ - вектор коэффициентов регрессии, $\boldsymbol{\varepsilon}^{(2)}$ - вектор невязки. В данной задаче взвешивание проводится однозначно. Коэффициент множественной детерминации R_{yy}^2 определяет "объяснимую" дисперсию D_y :

$$D_y = \sum_{i=1}^n (\beta_i \mathbf{G}^{(2)}(\mathbf{X}_n) + \beta_2 \mathbf{G}^{(2)}(\mathbf{X}_n) + \dots + \beta_n \mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n) \dots + \xi_j^2)^2.$$

В силу ортонормированности $\mathbf{G}^{(2)}(\mathbf{X}_n)$ получим: $\sum (\beta_k^2 + D_{\xi_l}) = 1$, где D_{ξ_l} - дисперсия вектора $\boldsymbol{\varepsilon}^{(2)}$. При "хорошей" модели ($R_{ji} > 0,96$); и поэтому можно принять $D_{\xi_l} \approx 0$, после чего, получим :

$$\sum_{i=1}^n (\beta_i^2) = 1.$$

Поскольку вклады факторов $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n)$ в отклик равны долям дисперсии отклика, приходящиеся на соответствующие i -регрессоры Λ_i , то они используются в качестве компонент весового вектора $\boldsymbol{\Lambda} = (\beta_1^2, \beta_2^2, \dots, \beta_n^2)$ в задаче таксономии, где метод группировки объектов по первым двум факторам расширяется на таксономию территорий по всем n – факторам. В силу ортонормированности базиса $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n)$ таксономию территорий можно проводить в пространстве с метрикой Евклида $R_e^2 = \langle d_i | \boldsymbol{\Lambda}^\top \delta | d_i \rangle$, где δ - матрица Кронекера).

В данном подходе не решается вопрос о весовых вкладах признаков \mathbf{X}_n , а рассматриваемая матрица \mathbf{X}_n является базой для формирования средовых факторов $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n)$, с определенными весами, и по которым проводится экологическое районирование. В общем смысле, решение является "формальным" - факторы $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X}_n)$ не имеют содержательной интерпретации, однако в плане конкретной задачи (учета вклада факторов окружающей среды в отклик индикатора \mathbf{Y}) районирование территории представляется строгим (с точностью до D_{ξ_l}). Естественно, что возможны и неформальные интерпретации векторов $\mathbf{G}^{(n)}(\mathbf{X})$, например, в случае проведения варимаксных вращений.

Отметим, что в данной постановке вопроса, районирование можно понимать и как задачу установления географического соответствия действия факторов в пределах структурно однородных зон уровням "хронологических откликов" индикаторов, например в пределах ареалов видов. Решение задачи проходит этапы картографирования отклика, установления структурно-однородных географических зон воздействия факторов (с учетом вкладов) и анализа сопряженности зон отклика индикатора и воздействия факторов.

2.3. Методические вопросы классификации территорий

При типизации территорий часто необходимо соотнесение классификации с известным разбиением географических объектов на группы, что обычно

проводится наложением картографических изображений. В нашем случае оценку соответствия при географическом наложении известных ареалов A и образа A' (кластеров территорий $U_w\{q_i(X_n), X_n\}$) удобно оценивать с помощью показателей, используемых в теории информации [54].

Для данной задачи энтропии ареалов $H(A)$ и $H(A')$ определяются:

$H(A) = -\sum w_i \log_2 w_i$, где w_i - доли i - площадей ареалов на карте кластеров территорий $U_w\{q_i(X_n), X_n\}$ и $H(A') = -\sum w_j' \log_2 w_j'$, где w_j' доли j -площадей ареалов на карте данной типологии - разбиением объектов на классы.

Энтропия новых контуров AA' , образованных при наложении кластеров территорий $U_w\{q_i(X_n), X_n\}$ на известный типологический объект определяется: $H(AA') = -\sum w_k' \log_2 w_k'$, где w_k' - доля k - площадей совмещенного изображения. Тогда показатель теории информации $J_{(AA')}$ - информационная емкость связи известных ареалов A и кластеров территорий (образа A') выразится: $J_{(AA')} = \sum w_i \log_2 w_i + \sum w_j' \log_2 w_j' - \sum w_k' \log_2 w_k'$.

Переходя к относительным показателям, получим:

$$K_{(AA')} = (\sum w_i \log_2 w_i + \sum w_j' \log_2 w_j' - \sum w_k' \log_2 w_k') / \sum w_k' \log_2 w_k' ;$$

$$\varphi_s = 1 - \exp[-2(\sum w_i \log_2 w_i + \sum w_j' \log_2 w_j' - \sum w_k' \log_2 w_k')],$$

где, $K_{(AA')}$ - коэффициент взаимного соответствия результатов классификации кластеров территорий $U_w\{q_i(X_n), X_n\}$ с известным разбиением, φ_s - информационный коэффициент корреляции накладываемых ареалов.

Показатели $K_{(AA')} \in (0;1)$ и $\varphi_s \in (0;1)$ пригодны для сравнения кластеров территорий и заданного районирования при любом количестве сопоставляемых контуров и числе градаций шкал качественного фона.

Оценка качества типизации географических объектов

Оценка классификации является неформальной процедурой выбора метода агломерации географических объектов S_k , метрики пространства признаков и матрицы весов Λ^T , т.е. экстремального решения (разбиения на k - классов) по отношению к некоторому функционалу качества η_e . В общем случае, η_e назначается волевым путем или из эвристических соображений.

Так для определения качества географической классификации в работе [51] были сформулированы три требования : достижения максимального сходства объектов, наибольшей равномерности распределения объектов по классам и минимальность числа классов ($k \rightarrow 2$) и предложен критерий следующего вида: $\eta_e = k^{-1}(1 - I_2/I_1 + H/H_{max})$, где, соответственно, I_1 и I_2 - среднее таксономическое расстояние между классами и между объектами внутри классов, H/H_{max} - относительная энтропия, показывающая равномерность распределения объектов по классам, определяемая:

$$\frac{H}{H_{max}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \log P_i}{\log n}.$$

При $\eta_2 = 1$ классификация оптимальна (состоит из двух полностью однородных классов с равным числом объектов), однако труднореализуема на практике, что, зачастую, приводит к необходимости жертвовать третьим условием, выбирая $k > 2$.

Поскольку наша задача, определяемая минимизацией стоимости РСЭМ, требует районирования региона с минимальным числом таксонов, это делает обязательным третье условие районирования – требование простоты классификации в наиболее жесткой форме ($k = 2$). Первые два требования решаются за счет проведения целого ряда классификаций и последующего анализа матрицы рангов ij -моделей, определения весов индикаторных признаков в виде суммы рангов и, в конечном итоге, проведения районирования региона с учетом вкладов и согласованности моделей.

Поэтому мера качества η_2 , в нашем случае, должна применяться не в вопросе итогового районирования региона, отдельно для каждой ij -подмодели в частной задаче выбора оптимального алгоритма классификации. Здесь оптимальность можно понимать, в первую очередь, как недопущение артефактов при классификации, таких как появление "длинных кластеров". Данный "эффект цепочек" [55] часто проявляется на последних шагах в различных алгоритмах агломерации объектов S_k , приводя к тривиальной классификации региона: кластерам, состоящим из одного объекта и всех остальных объектов, что требует от исследователя подбора алгоритма классификации, метрики пространства признаков, выбора весов ребер графа связи при объединении.

В качестве функционала, обеспечивающего дискриминацию "длинных кластеров" η_2 удобна энтропия как H_2 , - мера упорядоченности субтерриториальных единиц $S \in \mathcal{R}^r$, описывающая дискретное распределение границ между r -территориями кластеров. Для двух кластеров предпоследнего шага классификации, расположенных на r -территориях области основное допущение - равновероятность каждого из "микросостояний" k -границ кластера. Для общего числа v - границ с соседним кластером количество "микросостояний" с k -границами, равно числу сочетаний C^k_v . Общее же число μ -"микросостояний" для "макросостояния" границ кластера определяется как их сумма:

$$\sum_{\mu=1}^v C^{\mu}_v.$$

Тогда вероятность w реализации "макросостояния" границ r -кластера будет:

$$w = C^k_v / \sum_{\mu=1}^v C^{\mu}_v.$$

Энтропия H_2 как мера географической упорядоченности при классификации N - субтерриториальных единиц для r -территорий обоих кластеров выразится:

$$\eta_2 = H_2 = - \sum_{r=1}^r w \log_2 w = - \sum_{r=1}^r C^k_v / \sum_{\mu=1}^v C^{\mu}_v \cdot \log_2 (C^k_v / \sum_{\mu=1}^v C^{\mu}_v)$$

Отметим, что у данного функционала качества классификации η_2 два экстремума – он максимален в двух случаях: когда один из кластеров является обособленной субтерриториальной единицей ($v=1$), а также когда территории обоих кластеров представляют наиболее хаотическую мозаику.

Представление полей данных РГСЭМ изолиниями рельефа

Специфика задач РГСЭМ заключается в дискретном характере ее данных – случайных величин (показателей X_n , их главных компонент $G^{(n)}(X_n)$, кластеров $q_i(X_n)$, тренд-векторов e_k и остатков регрессий ε_k) и их конкретной географической привязке. Однако предоставление материалов об экологической ситуации для экспертов и ЛПР требует их интерполяции – картографирования полей данных в изолиниях рельефа. Реконструкция рельефа поля $X_k(x,y)$ по дискретной системе точек требует выбора алгоритмов интерполяции, что является неформальным актом, вне рамок задачи. В силу ее некорректности, доопределение производят эвристически в разных подходах [56].

Так например, один из наиболее распространенных алгоритмов - интерполятор Гаусса $f_G(x,y)$, минимизирует случайную погрешность в j – точке. Используется вся выборка для расчета каждой j - точки поля, со взвешиванием картографируемой величины X_j по закону обратных квадратов:

$$f_G(x,y) = \sum_{j=1}^N X_j / R_j^2,$$

где R_j - радиус-вектор точки, где картографируемая величина имеет дискретное значение X_j . Однако, интерполятор Гаусса обладает существенным недостатком - наличием ложных экстремумов - "иголок" в j -точках и между точками [56]. Кроме того, при расчете поля часто необходимо взвешивание влияния соседних точек поля на картографируемую величину X_j по отличному от R_j^{-2} закону.

Оба обстоятельства учтены в обобщенном интерполяторе Гаусса $f_G^\circ(x,y)$, введением следующих взвешивающих множителей и степеней:

$$f_G^\circ(x,y) = \frac{\sum_{j=1}^N X_j^v \cdot (S_j / R_j^2)^v}{\sum_{j=1}^N (S_j / R_j^2)^v},$$

S_j - площадь j -й территории, $v = 1, 2, 4$. Характерные площади S_j учитывают вклад разных по размерам территориальных единиц. При построении карт по данным, не соотносящимся с характерными площадями, $S_j = 1$ для $\forall j$. Наличие показателей v , устанавливающих характер и размер "шапо" вокруг опорной точки, определяет локальность алгоритма интерполяции, что при $v = 2$, $v = 4$, позволяет освободиться от недостатка метода Гаусса - ложных экстремумов - "иголок". При $v = 1$ и $S_j = \text{const}$, $f_G^\circ(x,y)$ переходит в обычный вид интерполятора Гаусса $f_G(x,y)$. Проведенное тестирование интерполятора $f_G^\circ(x,y)$ показывает, что при массивах N порядка нескольких десятков и при $v = 4$ нет ложных экстремумов между точками и в самих j -точках.

При необходимости в работе интерполятора можно проводить сглаживание данных по алгоритму скользящего среднего (например окном с размером

3×3 узла расчетной сетки). Кроме того, часть данных РГСЭМ обычно представляет комбинацию равномерно распределенной величины $\sigma(\mathbf{R})$ - плотности параметра (по территории района) и сингулярных значений $\mu_n(\mathbf{R})$ (в населенных пунктах). Соответствующая функция плотности $\eta(\mathbf{R})$ имеет вид:

$$\eta(\mathbf{R}) = \sigma(\mathbf{R}) + \sum \mu_n(\mathbf{R}) \cdot \delta(\mathbf{R}-\mathbf{R}_n),$$

где, $\delta(\mathbf{R}-\mathbf{R}_n)$ - двумерная сингулярная дельта-функция Дирака. Координаты, которым соответствует \mathbf{R}_c - радиус-вектор n -точки, ("центр масс" показателя в районе) рассчитываются по формуле:

$$\mathbf{R}_c = 1/M \cdot \int \mathbf{r} \eta(\mathbf{R}) d\mathbf{R}, \text{ где } M = \int \eta(\mathbf{R}) d\mathbf{R}.$$

Пакет программ для расчетов должен быть элементом АРМ рабочей станции - пользователя РГСЭМ, должен позволять производить выбор метрики пространства признаков, их взвешивание и картографирование оценки.

ГЛАВА 3 РАЙОНИРОВАНИЕ АДМИНИСТРАТИВНОГО РЕГИОНА В ЗАДАЧАХ РГСЭМ

В соответствии с требованиями к территориальной подсистеме РГСЭМ [1] при ее формировании должен максимально использоваться потенциал существующих в регионе государственных и ведомственных систем, служб и сетей мониторинга экологической обстановки, антропогенных воздействий, состояний биоты и экосистем, среды обитания человека. В каждом административном регионе России, как объекте экологического мониторинга, достаточно типичным является территориальная мозаика разноуровневого антропогенного давления на природную среду при вариативной устойчивости к воздействиям – частым сочетаниям большой нагрузки на толерантные природные комплексы.

В данной главе рассмотрены методические подходы к районированию административного региона для задачах РГСЭМ на конкретном примере Кировской области. Основные факторы влияния на экологический ресурс биосферы данного региона достаточно типичны - это урбанизация, лесозаготовка, сельскохозяйственное воздействие, выброс загрязняющих веществ и рекреационный прессинг, однако их структурные и пространственные особенности специфичны, как и во всех регионах. К специфическим проблемам региона относят высокую почвенную эрозионную опасность, влияние складов химического оружия и радиохимических производств.

3.1. Региональные сети мониторинга

Систематические экологические исследования Кировской области начались недавно. Создана территориальная комплексной схемы охраны природы (ТерКСОП) [65], разработаны региональные программы мониторинга биоты [6, 59], сельскохозяйственных земель [60], а также РГСЭМ [32].

Краткая характеристика природных условий Кировской области

Кировская область (площадь 120 000 кв. км) расположена на востоке Европейской части России, входит в состав Среднего Поволжья в пределах Восточно-Европейской платформы, докембрийские кристаллические породы которой перекрыты разновозрастными отложениями - от пермских до четвертичных. Преобладают отложения пермского, триасового и мелового периодов. Рельеф региона равнинный, с общим уклоном территории с северо-востока на юго-запад при средних высотах 120-200 м над уровнем моря. Наиболее возвышены, имеющие тектоническую природу элементы рельефа: Северные Увалы (252 м над уровнем моря), Вятские Увалы (284 м) и Верхнекамская возвышенность. Ледниковые формы рельефа, представлены моренными грядами и холмами на севере области – следы днепровского и московского оледенений. В современном рельефе можно выделить долины рек Вятки, Пижмы, Кильмези, Моломы, Чепцы и других. Основным процессом образования речных долин является водная эрозия, ответственная и за развитую в центральных и южных районах области овражную сеть, а также оползневые и карстовые образования.

Большая часть территории относится к бассейну Каспийского моря, а северо-запад – к бассейну Белого моря. Протяженность гидрографической сети

около 67 000 км, представленной 19 753 реками. На территории области находится 1000 озер общей площадью 14 812 га. Пруды занимают 12 994 га, болота - 150 200 га (из них - 97 400 верховых, 50 700 низинных).

Климат Кировской области умеренно-континентальный. Средняя температура января составляет -15°C , июля - $+18^{\circ}\text{C}$. Длительность безморозного периода около 120 дней. Годовое количество осадков в северной части области 600-700 мм, а в южной - 400-500 мм. Господствуют ветры западных направлений: зимой - юго-западные, летом - северо-западные. Летом территория области находится под воздействием полярного фронта.

Территория Кировской области расположена в таежной зоне: в подзонах средней тайги, южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. Зональный тип растительности - темнохвойные леса. Интразональная болотная и луговая растительность приурочена к поймам рек. Основными типами почв являются подзолистые (45 % территории), дерново-подзолистые (33 %) и серые лесные почвы (6 %). Животный мир представлен типичными зональными фаунистическими комплексами, зарегистрировано 5299 видов животных.

Особенностью Кировской области является преобладание транзитных элювиальных ландшафтов и незначительная роль гидроморфных ландшафтов аккумулятивного типа. Последние представлены в растительном покрове северо-таежными еловыми и елово-кедровыми сфагновыми и травяными лесами в сочетании с заболоченными сосновыми лесами и сфагновыми болотами, средне- и южнотаежными сосновыми с елью зеленомошными лесами в сочетании со сфагновыми заболоченными лесами и сфагновыми болотами [178].

В каждом регионе проводится контроль экологического состояния, ресурсов, социума десятками сетей наблюдений. Так, например, в Кировской области их свыше пятидесяти, рассмотрим важнейшие из них.

Сети экологического мониторинга (биоты) в Кировской области включают: охотничьи заказники и ГРФОУ Управления охотничьего хозяйства, посты оценок нерестовых стад Инспекции рыбоохраны, ветеринарные станции Департамента сельского хозяйства, ветеринарные лаборатории (с ветстанциями), лесничества Кировского управления лесами, лесничества Кировского управления лесами с питомниками и проводимым на них мониторингом почв, лесничества Облмежколхозлеса, пункты сплошного агрохимического мониторинга пахотных почв АХЦ "Кировский", пункты локального агроэкологического мониторинга за состоянием агроэкосистем АХЦ "Кировский", посты мониторинга растительных ресурсов ВНИИОЗ, сеть корреспондентов мониторинга промышленной фауны ВНИИОЗ, объекты контроля болотных экосистем Лугоболотной станции (ЛБС), точки фенотипического мониторинга ВГПУ, сеть фенологического мониторинга Кировского объединенного музея, сеть школьного экомониторинга департамента образования.

Сети мониторинга природных сред включают: посты Гидрорежимного участка (нарушенный режим подземных вод) посты Гидрорежимного участка (естественный режим подземных вод), пограничные створы рек (Комитет по природным ресурсам), сеть точек контроля воды предприятиями, створы ЦГМС, сеть пунктов радиологического контроля АХЦ "Кировский", сеть радиологического контроля ОблСЭН, пункты радиологического контроля Облветлаборато-

рии, пункты сплошного агрохимического мониторинга пахотных почв АХЦ "Кировский", пункты локального агроэкологического мониторинга за состоянием агроэкосистем АХЦ "Кировский", метеостанции ЦГМС, агрометеорологические посты ЦГМС, метеорологические посты ЦГМС, гидрологические посты ЦГМС, объекты мониторинга болотных экосистем ЛБС, створы контроля поверхностных вод ОблЦСЭН.

Сети мониторинга природных ресурсов включают посты Гидрорежимного участка (естественный режим подземных вод), пограничные створы рек (Комитет по природным ресурсам), точки наблюдений мониторинга геологической среды Комитета по природным ресурсам, охотничьи заказники и ГРФОУ Управления охотхозяйства, пункты оценок нерестовых стад Инспекции рыбоохраны, лесничества Управления лесами, лесничества Управления лесами с питомниками и мониторингом почв, лесничества Облмежколхозлеса, пункты сплошного агрохимического мониторинга пахотных почв АХЦ "Кировский", пункты локального агроэкологического мониторинга состояния агроэкосистем АХЦ "Кировский", посты мониторинга растительных ресурсов ВНИИОЗ, сеть корреспондентов мониторинга промысловой фауны ВНИИОЗ, гидрологические посты ЦГМС, объекты мониторинга болотных экосистем, а также службы Облкомстата и Облкомприроды.

Сети социально-гигиенического мониторинга включают службы медицинской статистики департамента здравоохранения, Облкомстата, посты санитарного контроля ОблЦСЭН, службы первичного учета медицинских данных поликлиник, онкологического диспансера, а также научных учреждений и вузов, ведущих постоянный режимный контроль (НИИ гематологии и переливания крови, мединститут, Вятский госпедуниверситет).

Сети мониторинга антропогенных воздействий включают посты Гидрорежимного участка (нарушенный режим подземных вод), пограничные створы рек Комитета по природным ресурсам, сеть точек контроля воды предприятиями, створы ЦГМС, сеть пунктов радиологического контроля АХЦ "Кировский", сеть радиологического контроля ОблСЭН, лесничества Кировского управления лесами, лесничества Кировского управления лесами с питомниками и их мониторингом почв, лесничества Ассоциации "Вятский лес", пункты радиологического контроля Облветлаборатории, пункты сплошного агрохимического мониторинга пахотных почв АХЦ "Кировский", пункты локального агроэкологического мониторинга за состоянием агроэкосистем АХЦ "Кировский", посты мониторинга растительных ресурсов ВНИИОЗ, корреспонденты мониторинга промысловой фауны ВНИИОЗ, гидрологические посты ЦГМС, объекты мониторинга болотных экосистем ЛБС, створы контроля поверхностных вод ОблЦСЭН, фенотипический мониторинг ВГПУ, сеть школьного мониторинга департамента образования.

Социально-экономический мониторинг проводится Облкомстатом, Комитет по экономике, Областным финуправлением, Облкомприроды, Федеральной службой переписи населения.

Список организаций по видам мониторинга приведен в табл.3.1. Отметим, что службы, хотя и фрагментарно, но обеспечивают контроль по всем базовым функциональным подсистемам. Плотность сетей составляет по ландшафтным

округам: в Моломо-Лузском, Вятско-Камском и на Западе Вятско-Ветлужского округов 3-10 точек на 1 тыс.кв. км, а в Вятско-Чепецком, Пижмо-Кокшагском и Вятско-Кильмезском округах - от 10 до 39. Лучше отслеживаются территории вокруг гг. Кирова, Кирово-Чепецка и Вятских Полян.

Таблица 3.1

Природоохранные и природоресурсные ведомства, ведущие наблюдения по базовым функциональным подсистемам РГСЭМ

	П	В	Н	Г	С	Б	З	А	Р		П	В	Н	Г	С	Б	З	А	Р
1	+	-	-	-	+	+	-	+	+	13	+	+	-	+	+	-	-	+	-
2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	+	+	-	-	-	-	+	-
3	+	-	-	-	-	+	-	-	-	15	-	+	-	+	-	-	+	+	+
4	+	-	-	-	-	+	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	+	-	-
5	+	-	-	-	+	+	-	-	-	17	-	-	+	-	-	-	-	-	-
6	+	+	+	+	+	+	-	+	-	18	-	-	-	-	-	+	-	-	-
7	+	-	-	-	-	+	-	-	-	19	-	-	-	-	-	+	-	-	+
8	-	-	-	-	-	-	+	-	-	20	-	-	-	-	-	+	-	-	-
9	-	+	-	-	-	-	-	+	-	21	-	-	-	-	-	+	-	-	-
10	-	-	-	-	+	+	+	-	-	22	-	-	-	-	-	+	-	-	-
11	-	-	-	-	-	+	-	-	-	23	-	-	-	-	-	+	-	-	-
12	-	+	-	+	-	-	-	+		24	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Обозначения: А - контроль антропогенных воздействий, П - почв, В - воды, Г - воздуха, С - снега, Р - радиоактивности, З - социального здоровья, Б - биоты, Н - недр. **Ведомства (на примере Кировской области):** 1- Агротехцентр, 2- Комитет по земельным ресурсам, 3 - Лугоболотная станция, 4 - ВСХА, 5 - Управление лесами, 6 - Облгоскомэкологии, 7 - Станция защиты растений, 8 - Областной онкодиспансер, 9 - Гидрорезжимный участок, 10- ВятГПУ, 11 - НПО "Луч" , 12 - Предприятия водопользователи, 13 - ЦГМС, 14 – Комитет по природным ресурсам, 15 - ОблЦГСЭН, 16 - Департамент здравоохранения, 17 - Геологоразведочная экспедиция, 18 - Ассоциация "Вятский лес", 19 - Ветлаборатории, 20 - Областное управление охотничьего хозяйства, 21 - Инспекция рыбоохраны, 22 - ВНИИОЗ им.Житкова, 23 - Система учреждений образования, 24 - Объединенный музей.

3.1.1. Почвенный мониторинг региона

Основными факторами воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду являются обработка земель, водная и химическая мелиорация, пастьба и содержание скота. Наибольшему воздействию подвергаются растительность и почвы, при этом естественный покров заменяется культурной растительностью, в почву вносятся удобрения, ядохимикаты, биопрепараты, отходы производства. Основными показателями экологического состояния почв является их физическая деградация и химическое загрязнение. Почвы в силу своих природных свойств накапливают значительные количества

загрязняющих веществ. Санитарно-гигиенический подход к выбору критериев экологической оценки почв определяется возможностью переноса загрязняющих веществ в воздух и воду, накоплением их в сельскохозяйственной продукции на этих территориях, что оказывает непосредственное влияние на здоровье населения.

Согласно работе [57] цели мониторинга почв - обнаружение неблагоприятных изменений их свойств при всех видах использования и естественных преобразовательных процессах, контроль над состоянием почв под культурами по сезонам для своевременной выдачи рекомендаций. Объектами мониторинга почв региона могут быть территории, подверженные антропогенным нагрузкам, площади в зонах рискованного земледелия и фоновые земли, с периодичностью, в зависимости от темпов процессов, от года до десятков лет.

В основные задачи почвенного мониторинга входят [58]: контроль баланса элементов питания в почве; выявление территорий с его дефицитом и оценка скорости потерь элементов питания; контроль за ежегодными потерями почвенного слоя вследствие дождевой ирригации и ветровой дефляции; контроль за солевым режимом, рН, физическим состоянием; контроль за загрязнением тяжелыми металлами вследствие глобальных выпадений и локальных воздействий предприятий и транспорта; контроль за использованием мелиорантов, удобрений и пестицидов; контроль за загрязнением почвы детергентами, отходами и нефтепродуктами. Кроме того, в задачи мониторинга входит экспертная оценка изменений почвы в результате строительства, внедрения новых систем земледелия и инспекторский контроль за размерами, правильным отчуждением пахотных почв для промышленных и коммуникационных целей.

Экологическая оценка состояния почв определяется спецификой их местоположения, генезисом, буферностью, а также разнообразием их использования с учетом площадей с различной степенью деградации почв. Почвенный мониторинг должен быть комплексным, с учетом трех групп показателей - ранней, краткой и долгосрочной диагностики, а основными показателями экологического состояния являются критерии физической деградации, химического и биологического загрязнения. Основные и дополнительные показатели почв населенных пунктов, применяемые при оценке территории [59], могут рассматриваться как мониторы, отслеживающие окружающую среду.

Основные показатели экологического состояния почв – это радиоактивное загрязнение почв (мкР/час), степень радиоактивного загрязнения по отдельным радиоизотопам (мкКи/кв. км), а также химическое загрязнение почв по суммарному показателю (Z_c). К важным признакам для селитебных территорий относятся показатели биологического, а также генотоксического загрязнения, индицируемого, например, по фенотипическим реакциям тест-объектов.

В регионе мониторинг почв проводится рядом организаций - агрохимцентром, комитетом по земельным ресурсам и землеустройству, Управлением лесами, станцией защиты растений, центром госсанэпиднадзора, агрохимическими лабораториями землепользователей и др.

1. Станция защиты растений контролирует содержание остаточных количеств пестицидов в почвах и сельхозпродукции (один раз в год).

2. Областной ЦГСЭН периодически контролирует остаточные пестициды сверх максимально допустимого уровня в сельхозпродукции, воде и почве.

3. Агрохимцентр проводит сплошной и локальный агроэкологический мониторинг пахотных почв области. Сплошной мониторинг пахотных почв всех хозяйств области проводится с периодичностью один раз в 4-5 лет. Почвы анализируются на содержание подвижного фосфора, обменного калия, на кислотность, содержание микроэлементов, гумуса, гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований. На реперных участках ежегодно проводится локальный мониторинг. Образцы почвы и растений анализируются на основные агрохимические показатели, микроэлементы, тяжелые металлы, радионуклиды (цезий, стронций - в почвах и растениях в постоянных точках на типичных почвах), остаточное количество пестицидов.

В Кировской области разработана Программа мониторинга сельскохозяйственных земель [60], куда входят показатели по блокам: климат, почва и ее деградация, режим почв, водная эрозия, переувлажнение и заболачивание земель, состояние сенокосов и пастбищ, плодородие и продуктивность почв и измененные территории. Программа базируется на почвенно-географическом районировании на 14 округов, и в каждом организуется ряд тестовых участков наблюдения - лес, хозяйство, сортоучасток.

3.1.2. Мониторинг состояния атмосферного воздуха

На территории региона воздушный контроль осуществляется организациями санитарного надзора, облгоскомэкологией, гидрометеослужбой (УГМС) три раза в сутки (в Кировской области на шести стационарных пунктах) и предприятиями (контроль санитарно-защитных и селитебных зон). Для оценки степени загрязнения воздуха используются:

- максимально-разовые концентрации ЗВ с расчетом кратности превышения или взвешенной суммы в случае присутствия в атмосферном воздухе веществ, обладающих синергизмом биологического действия (ОНД-86);

- среднесуточные пробы;

- среднегодовые концентрации ЗВ с расчетом степени загрязнения воздуха, учетом кратности превышения среднегодового ПДК веществ, их класса опасности, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня, количества веществ, одновременно присутствующих в воздухе, и коэффициента их комбинированного действия. Степень загрязнения веществами разных классов определяется либо "приведением" их концентраций, нормированных по ПДК, к концентрациям веществ 3-го класса опасности, либо по комплексному показателю - "оценке степени суммарного загрязнения атмосферного воздуха" [13]. Показатель весьма чувствителен, в шкале "удовлетворительная ситуация - экологическое бедствие" изменяется на 1-2 порядка и может быть использован наряду с кратностями превышения. Основными показателями загрязнения воздуха (по действию на растительность, почвы и воды), являются критические нагрузки и критические уровни загрязняющих веществ - максимальные значения концентраций поллютантов в воздухе, не приводящих к негативным последствиям в экосистемах в долговременном плане (диоксиды серы, азота и пыль).

Оценка влияния загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе проводится в соответствии с требованиями ГОСТа 17.2.3.01-86, правилами контроля качества воздуха населенных мест, а также Временными указаниями [61] и ОНД-86. Степень загрязнения устанавливается по кратности превышений ПДК с учетом класса опасности, синергизма действия ЗВ и частоты превышения ПДК (раздельно для каждого поста, вещества и года наблюдения).

Недостатком системы контроля атмосферы в регионах является отсутствие постов на фоновых территориях, центров сбора и анализа ведомственной информации. Необходимы типологии важнейших экострессорных территорий региона и интегральные показатели, маркирующие состояние атмосферы.

3.1.3. Мониторинг состояния воды и водных ресурсов

В регионах режимный контроль природных и сточных вод осуществляет ряд организаций в соответствии с ведомственными нормативами и Положением о ведении государственного мониторинга водных объектов [62].

1. Центр по гидрометеорологии и мониторингу. Пункты наблюдений (по 4 категориям) организуются важнейших водотоках и на водоемах, подверженных загрязнению сточными водами (в районах сброса сточных вод, в замыкающих створах рек и на водотоках, не загрязненных сточными водами).

В Кировской области пункты I категории отсутствуют. Пункты II категории создаются в местах организованного сброса сточных вод городов с населением 0,5-1 млн. жителей. Наблюдения в этих пунктах проводятся ежедекадно и ежемесячно по сокращенной программе (13 показателей) и в основные фазы водного режима по полной программе (31 показатель). Пункты III категории (в городах с населением менее 0,5 млн. жителей, на замыкающих участках больших и средних рек, в устьях загрязненных притоков больших рек, районах организованного сброса сточных вод). Наблюдения проводятся ежемесячно по сокращенной программе и по полной программе - в основные фазы водного режима. Пункты IV категории располагаются на незагрязненных участках водотоков (наблюдения по полной программе в основные фазы водного режима). Кроме того, осуществляются ежеквартальные экспедиционные наблюдения.

2. Санитарная служба региона осуществляет санитарно-гигиенический мониторинг поверхностных водоемов в местах хозяйственно-питьевого (по постоянным створам и водозаборам) и культурно-бытового водопользования (количество створов наблюдения меняется ежегодно). Исследования проводятся по 22-36 санитарно-гигиеническим, 4 бактериологическим показателям; кроме того, проверяется наличие гельминтов. Периодичность исследований составляет от 2 до 12 раз в год, в зависимости от санитарно-гигиенической ситуации. Исследования проводятся на базе районных и областной ЦГСЭН. Оценка результатов исследований проводится на основании СанПиН N 4630-88 в соответствии с гигиенической классификацией водных объектов по степени загрязнения.

3. Лаборатории промышленных предприятий и организаций осуществляют ведомственный контроль по 10-15 ингредиентам с различной периодичностью (от 1 раза в неделю до 1 раза в квартал).

4. Комитет по природным ресурсам производит отбор проб воды на пограничных створах рек, протекающих через территорию региона, а также отвечает за мониторинг водной среды водохозяйственных систем и сооружений в местах водозаборов и сбросов сточных вод.

5. Гидрорежимный участок осуществляет мониторинг за состоянием подземных вод региона. Наблюдательная сеть включает в себя скважины, расположенные в районах грунтовых водозаборов и на очагах загрязнения. Собираются и обрабатываются сведения об уровне, температуре и качестве (катионно-анионный состав, минерализация) подземных вод, а также сведения о величине водоотбора. Периодичность наблюдений за уровнем и температурой подземных вод - 1 раз в 5 дней, в период половодья - 1 раз в 3 дня, химический состав воды исследуется не реже 2 раз в год - в межень и паводковый периоды. Контроль подземных вод проводится также геологическими партиями.

6. Служба аналитического контроля Облгоскомэкологии анализирует пробы воды эпизодически в случае необходимости.

Недостатки системы мониторинга водных ресурсов в Кировской области.

1. Мало постов наблюдений. Посты контроля за качеством поверхностных вод необходимо иметь на замыкающих створах всех 83 рек области, с длиной более 50 км. Наблюдения по 29 скважинам не могут полностью отразить естественный режим подземных вод всей области. Наблюдательные пункты необходимы на всех скважинах, где величина водоотбора превышает 1000 куб.м/сут. Первичным обследованием не охвачены 22 района и 9 районных центров. Ни на одном водозаборе нет наблюдательных скважин, обеспечивающих полноценный сбор информации по отработке запасов; не созданы полигоны для ведения мониторинга на участках загрязнения подземных вод.

2. Анализ качества природных вод проводится в основном на химические загрязнители, в то время как основной составляющей мониторинга качества вод являются гидробиологические наблюдения. Наблюдений по гидробионтам (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, перифитон) ведомствами не ведется.

3. Практически не проводятся гидрологические и гидрохимические наблюдения на озерах, болотах, прудах.

4. Гидрологические и гидрохимические службы принадлежат разным ведомствам и не скоординированы.

В системе РГСЭМ экологические оценки должны осуществляться по химическим и биологическим показателям (не менее чем за год наблюдений [13]). За приоритеты выбирают ксенобиотики, депонируемые тканями гидробионтов. К "информативным признакам" относят показатели пресноводных экосистем (фито- и зоопланктон, зообентос, численность и биомассу диатомовых и зеленых водорослей, а также комплексные оценки – индекс Вудивисса и др. [31]).

3.1.4. Мониторинг состояния недр Кировской области

Основными в мониторинге состояния недр являются показатели экологической опасности деформаций и изменения геологической среды: индуцированная сейсмичность, локальные аномальные деформации горных пород в районах экологически опасных объектов, оползни, сели, карсты, просадки поверхности

из-за техногенной нагрузки. Учитываются извлеченные полезные ископаемые, площади нарушенных ландшафтов и объемы вскрышных пород [13].

Изучение недр Кировской области осуществляет ряд организаций. В 1994 г. разработана Программа мониторинга недр; при Комитете природных ресурсов создан научно-исследовательский центр для проведения режимного контроля экзогенных геологических процессов, подземных вод и состояния водных объектов. Кроме того проводится учет минерально-сырьевых ресурсов региона, создается электронный банк данных геолого-ресурсной информации.

3.1.5. Мониторинг биоты

Среди природных сред и объектов биота является наиболее чувствительным к антропогенным воздействиям звеном. Однако комплексный мониторинг биоты, как таковой, в административных регионах не проводится.

В Кировской области изучение ресурсов дикорастущих растений осуществляют Всероссийский институт охоты и звероводства (ВНИИОЗ), ВГПУ и краеведческий музей (у которого также имеется и фенологическая служба). Мониторинг леса осуществляют: Управление лесами, Ассоциация "Вятский лес", Управление охотничьего хозяйства, ВНИИОЗ. Разработана программа мониторинга плодово-ягодных растений и грибов, остающаяся нереализованной. Учет охотничьих животных выполняет Управление охотничьего хозяйства (28 хозяйств УОХ и 36 хозяйств областного общества охотников и рыболовов). Нет мониторинга рыбных запасов (их учет начат на р. Вятке в 1997г.). В 1992-1993 г. разработана система мониторинга биоты [6, 59], однако она не реализована из-за отсутствия инвестиций.

Экологический мониторинг лесов является специализированной подсистемой мониторинга биоты в рамках РГСЭМ. Согласно работе [63] рекомендован ряд показателей экологических функций лесов - динамика лесистости, площади хвойных и лиственных лесов, их видовой состав, полнота, возрастная структура, прирост, площади и концентрации гарей, рубок, антропогенной деятельности на территории лесов, санитарно-лесопатологическое состояние.

Наблюдения проводят по лесоустроительной программе РФ: таксация по 19 показателям (один раз в 10-12 лет); через учет лесного фонда (раз в 5 лет) по показателям возрастной структуры преобладающих пород, площади и запасам древесины. Показатели санитарного обзора по 7 лесозащитным районам и лесного фонда обобщаются ежегодно. Лесоустройство проводится раз в 10 лет в типологии земель 37 лесхозов и 31 межхозлесхоза.

По экспертным оценкам специалистов Управления лесами, определяющие показатели состояния лесного фонда: размер покрытой и непокрытой лесом площади; породный состав (хвойные, лиственные); санитарное состояние леса. Влияющие антропогенные факторы, учитываемые в статистической отчетности: размер рубки; площадь лесовосстановительных работ; площадь ухода за лесом; стихийные бедствия (пожары, ветровалы, вредители).

Растительность отражает изменения экологической обстановки территории в результате антропогенного воздействия, которые проявляются:

- через структуру растительного покрова (уменьшение площади коренных ассоциаций, изменение лесистости);

- на уровне сообществ и отдельных видов (популяций) - изменение видового состава, ухудшение ассоциированности и возрастного спектра ценопопуляций доминантов. Наиболее важна плотность популяции видов-индикаторов (положительных и отрицательных). Пороговым значением антропогенной нагрузки считается ее снижение\повышение на 20%, а критическим - на 50% ;

- через изменения в состоянии растительности - повреждение древостоев или хвой техногенными выбросами, уменьшение проективного покрытия и продуктивности пастбищной растительности в результате антропогенного воздействия - механическое (выпас, рекреация и т.д.) и химическое воздействие.

Рекомендуемые показатели состояния растительности как экологического индикатора территории приведены в работе [32]

Животный мир рассматривают на уровне зооценоза и отдельных видов животных (популяций). При оценке плотности популяции учитывают различную реакцию индикаторов на воздействие: увеличение (устойчивые виды) или уменьшение (чувствительные виды). Индикаторами являются [59]: уменьшение биоразнообразия; плотность популяции вида-индикатора нагрузки; уменьшение численности охотничье-промысловых видов животных.

3.1.6. Социально-гигиенический мониторинг

Изучение состояния здоровья населения в связи с воздействием факторов окружающей среды проводится по комплексу показателей: медико-демографические данные, заболеваемость, инвалидность, физическое развитие, функциональное состояние основных жизнеобеспечивающих систем организма на репрезентативных выборках наиболее чувствительных групп населения. Наиболее адекватным объектом является детское население, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению среды.

В базу данных социально-гигиенического мониторинга РФ [64] входят показатели здоровья населения и среды обитания и согласно [13] эти показатели могут рассматриваться как мониторы состояния окружающей среды. К основным показателям относятся:

- увеличение детской смертности (перинатальная смертность, младенческая, детская смертность в возрасте 1-4 года);

- медико-генетические показатели (увеличение частоты врожденных пороков развития новорожденных и спонтанных выкидышей);

- изменение заболеваемости детей и взрослых (по нозологическим формам и возрастам, изменение структуры заболеваемости);

- онкологические заболевания - заболеваемость и смертность (отдельные формы и злокачественные новообразования у детей);

- заболевания, этиологически обусловленные загрязнением среды.

В качестве дополнительных показателей привлекаются нарушения репродуктивной функции женщин, частота рождения недоношенных детей, результаты антропометрии, средняя продолжительность жизни, физическое и психиче-

ское развитие детей, генетические нарушения, изменение иммунного статуса, содержание в биосубстратах человека токсичных химических веществ.

В информационный фонд социально-гигиенического мониторинга входят показатели оценки экологической обстановки территорий - здоровье населения; состояние среды обитания человека; качество атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы, продовольственного сырья и продуктов питания; показатели социально-экономического положения области, районов и городов, оказывающие влияние на изменение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, здоровье человека и среду его обитания. В рамках утвержденного в 1995 г. Положения [64] в регионах разворачивается проведение социально-гигиенического мониторинга, обеспечивающее наблюдения, обработку информации государственных и отраслевых систем контроля, данных государственной статистики и разработку прогнозов изменения состояния социального здоровья. Предусмотрен важнейший для задач РГСЭМ комплекс – информационно-аналитические системы, сети, программные материалы и базы данных социально-гигиенического мониторинга.

В Кировской области наблюдения по подсистеме РГСЭМ "Социально-гигиенический мониторинг" ведут Департамент здравоохранения по учетным данным с ежегодной актуализацией, учреждения здравоохранения (Областная больница, Областной онкодиспансер) - контроль по учетным формам в разрезе нозоклассов, ОблЦГСЭН - наблюдения за социальным здоровьем и качеством окружающей среды населенных пунктов, распространенностью заболеваний по области в целом, и в разрезе районов (по отчетной форме №12).

3.2. Основные типологические модели региона

Проведение РГСЭМ требует адекватного районирования. Ниже рассмотрены основные типологии региона, используемые в задачах природоохраны и природопользования на примере Кировской области

Административное районирование региона. Основной территориальной типологией, по которой проводится учет данных статистическими службами региона, отражающих условия проживания и воздействие человека, является административное деление. Несмотря на огрубление информации при представлении данных в стандартном виде средних по району, к достоинствам данного районирования относится то, что в его рамках производится учет ряда показателей и принятие управленческих решений. Поскольку в большинстве регионов страны число районов порядка десятков, то этого достаточно для статистически достоверной экологической оценки/прогноза на региональном уровне. Поэтому в системе РГСЭМ при формировании оценок и критериев альтернатив выбора решений данное районирование должно постоянно соотноситься с другими типологиями, используя алгоритмы преобразования показателей. В Кировской области эта типизация проводится в разрезе 40 единиц - 39 районов и г. Киров.

Физико-географические модели районирования региона. Это районирование применяется в большинстве задач экологического направления, однако выбор природного рубежа ландшафтов является волевым актом, и потому – субъективен [66]. Тем не менее, ландшафтный принцип лежит в основе боль-



Рис. 3.1. Типология территорий по 6 ландшафтным округам

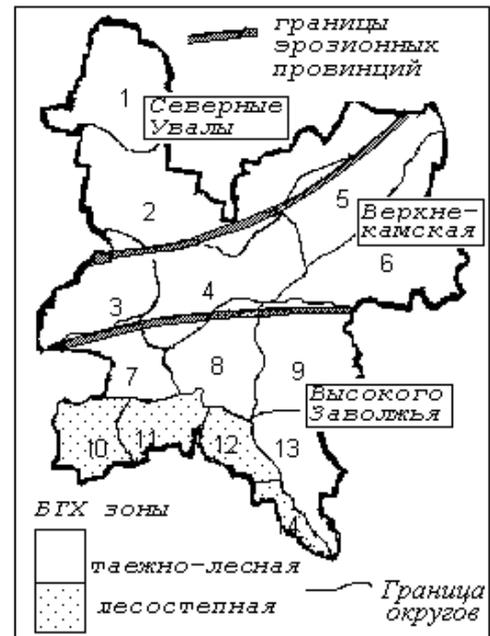


Рис. 3.2. Почвенные округа, районы эрозионной опасности и биогеохимические зоны (БГХ)



Рис. 3.3. Типология территорий по растительным зонам и фаунистическим районам (ФР)



Рис.3.4. Типология по 19 (24) бассейнам малого водосбора, биогеографические и эколого-географические зоны

шинства экологических карт России, причем в характеристику территориальных единиц включают и природные особенности, и характер природопользования.

В типологии России, предложенной Ф.Н. Мильковым, Кировская область относится к Восточно-европейской таежной области (провинции Вятско-Камской возвышенности, Северных увалов и Низменного Заволжья), в которой преобладают ельники. В ней выделяют ельники-зеленомошники, долгомошники, сфагновые, болотно-травяные и кустарниковые (сложные), а также сосновые боры. В соответствии с атласом Кировской области [67] ландшафтные таксоны высшего ранга представлены шестью округами, состоящими из 18 районов (рис.3.1). Моломо-Лузский округ сложен пермскими, триасовыми и четвертичными отложениями. Вятско-Камский - породами верхней перми, триаса, юры, мела и четвертичными. Оба округа относятся к среднетаежной подзоне. Вятско-Ветлужский округ сложен пермскими отложениями, прикрытыми ледниковыми песками и валунными суглинками. Вятско-Чепецкий - коренными пермскими породами, прикрытыми покровными суглинками. Данные округа относятся к южно-таежной подзоне. Пижмо-Кокшагский и Вятско-Кильмезский округа сложены пермскими и четвертичными отложениями (подзона хвойно-широколиственных лесов). В работе [68] рассмотрена геоморфологическая типизация Кировской области по ландшафтным поясам – моренных равнин (среднетаежная часть Северодвинской низменности и платообразные возвышенности Северных Увалов); интразональному поясу полесий и ополей (Камско-Вятская ложбина, север Вятского Увала, юг Северных Увалов, Средневятская и Котельничская низменности и Яранское ополье); эрозионных возвышенностей (Верхнекамская, Чепецко-Кильмезский водораздел, Вятский Увал, правобережье нижней Вятки) и Кильмезской зандровой равнине.

Согласно Эколого-географической карте России 1:4000000 [69], территория Кировской области, представляет (кроме крайнего среднетаежного Северо-Запада), южнотаежный восточноевропейский природный ландшафт, и делится на 2 таксона лесных угодий и пахотных угодий с границей, проходящей примерно по широте г.Кирова. Отметим, что эти таксоны в пределах региона совпадают с зонами темнохвойных и листопадных лесов – геоботанической типологией, основанной на концепции сукцессионной системы [70, 71].

Почвенное районирование. Доминирующими в Кировской области являются почвы подзолистого типа (дерново-подзолистые составляют 45%); есть дерново-карбонатного и дерново-глеевого типа, с хорошо выраженным гумусовым горизонтом, болотные и подзолисто-болотные и участки с серыми лесными почвами. В задачах мониторинга сельскохозяйственных земель [60] регион по условиям формирования почв и дифференциации структуры почвенного покрова районировуют на 14 "ландшафтно-экологических округов" [152]. Данная таксономия отражает совокупность сочетаний - мозаик почв с определенной генетико-геометрической формой и с границами, обусловленными геолого-геоморфологическими условиями их формирования (рис.3.2).

Районирование по эрозионной опасности для почв. К числу важнейших проблем Кировской области относится почвенная эрозионная опасность - 14% сельхозугодий подвержено эрозии, из них пашня составляет 88% (слабосмытые

– 81,3%, среднесмытые – 16%, сильносмытые – 2,7%). Ситуация с пашней в области характеризуется как кризисная [65].

По модулю смыва m_c и доле эрозионно-опасных земель $p_э$ область относится к двум эрозионным провинциям пояса значительного смыва Нечерноземной зоны [24]: Высокого Заволжья ($m_c > 3$ т/га, $p_э = 65-80\%$) и Верхнекамской ($m_c = 1,0 - 3,0$ т/га, $p_э = 50-65\%$), а также провинции Северных увалов пояса умеренного смыва ($m_c = 0,1-0,3$ т/га, $p_э = 40-50\%$). Границы провинций, согласно работе [20], приведены на рис.3.2.

Биогеохимическое районирование региона. Взаимодействия химических факторов внешней среды и организмов посредством биогенной миграции элементов по трофическим цепям легли в основу комплексной системы - биогеохимического районирования [72]. По данным критериям вся северная и центральная части территории Кировской области (рис.3.2) попадают в таежно-лесную нечерноземную биогеохимическую зону, где биологические реакции организмов определяются недостатком - *Ca, P, K, Co, Cu, I, Mo, B, Zn*, при достаточности *Mn* и избытке *Sr* (в поймах рек). Юг области (правобережье р. Вятки, южнее 57° с.ш.) относится к лесостепной биогеохимической зоне, включающей также и серые лесные почвы; биологические реакции организмов определяются достаточным количеством *Ca, Co, Cu, Mn*, сбалансированностью *I, Zn, Mo*, иногда недостатком *K, B*.

Геохимическое районирование региона. Для геохимического районирования необходимо знание распространения микроэлементов в почвах и степени антропогенного загрязнения. В работах [73-75] описаны результаты обследования почв Кировской области в 1992-1993 гг. Отобрано около тысячи проб почв в слое (0-5 см), составлены карты распределения в почвах металлов, и суммарного показателя загрязнения *Z*. Для *Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Ag, Mo, Sr, U, P* - фон в регионе соответствуют среднему уровню; для *Ba, Co, Sn, Th* фон близок к его нижнему пределу. В почвах агроландшафтов увеличивается содержание на 10-20% *Ti, Mn, Ba, Cr, Zn, Zr, Sr* и *P*; для *Ni, Cu, V, Co* увеличение на 40-50%, при том же количестве *Pb*. Для техногенных ландшафтов области характерно загрязнение свинцом и цинком.

В г.Кирове в почвах в 2-3 раза выше концентрация технофильных металлов. Концентрации элементов со значимыми превышениями (г/т) в почвах Кировской области (в числителе) и г. Кирова (в знаменателе): *Pb* - 12/20; *Cr* - 84/122; *Sn* - 2,5/2,9; *Ni* - 33/96; *Mo* - 1,4/1,5; *V* - 51/95; *Cu* - 28/65; *Zn* - 58/157; *Zr* - 149/106; *Co* - 5,4/15; *Sr* - 118/135. По показателю *Z* (для 11 элементов) на территории области выделяются почвы: с $Z < 0$, в северо-восточных и западных районах; с $Z \in (0; 16)$, доминирующие в области (занимают более ее половины) и с $Z \in (16; 32)$ - локальные пятна около источников загрязнений.

Итак, согласно работам [73-75] концентрации тяжелых металлов в почвах области, в основном, отображают естественную вариабельность. Однако на начальном этапе мониторинга нужно выяснение общей структуры природных концентраций, загрязнения территорий и уточнение фоновых параметров.

Районирование по показателям биоты. В типологии флоры Кировской области выделяют три подзоны – средней, южной тайги и широколиственно-хвойных лесов [67]. Подзоны, показанные на рис.3.3. отражают зональность

природных условий. Это проявляется и в фаунистическом районировании [67] на три таксона, чьи границы совпадают с ландшафтными округами – в северный фаунистический район входят Моломо-Лузский и Вятско-Камский, в центральный - Вятско-Ветлужский и Вятско-Чепецкий, а в Южный - Пижмо-Кокшагский и Вятско-Кильмезский округа.

Районирование по бассейнам водосбора. Для мониторинга биоты Кировской области [6, 59] предложено районирование по системе "склон-водосбор – русло" в разрезе 19 бассейнов водосбора рек: Лузы, Юга, Моломы, Великой, Летки, Кобры, Белой Холуницы, Чепцы, Ветлуги, Быстрицы, среднему течению Вятки, Пижмы, Вои, Кильмези, Б.Кокшаги, низовий р.Вятки (правобережье), низовий р.Вятки (левобережье), верховий Камы, верховий Вятки (рис.3.4). Однако, при преобладающем равнинном рельефе в регионе и слабой морфологической выраженности водораздельных пространств, границы бассейнов являются нечеткими и такое районирование не вполне корректно. Основные принципы проведения мониторинга на малом водосборе [50] учтены в программе РГСЭМ [37]. Хотя организация сети из 19 полигонов регионального фона по бассейновой модели в настоящее время нереальна, однако используя данные плотных сетей ведомств (агромониторинг почв, лесов) возможны оценки экологического состояния региона и в типологии бассейнов водосбора.

Ботанико-географическое районирование. Зональность типов системы климатических формаций, растительности и почв составленная отображает природный закон их соответствия. На картах: мелкомасштабных - Брокман-Ероша (1:25 000 000), Кюхлера (1:22 800 000), карте растительности СССР (1:10 000 000), а также региональных (среднемасштабных – 1:50000 – 100000) - зонирование проводится с использованием критериев флористического или физиономического сродства, или на базе антропогенных изменений [76].

Поскольку структура и динамика биоценозов реагируют на естественные внешние и антропогенные воздействия, то флористический состав и облик коренной ассоциации климакса отражают ведущие (термические) характеристики климата региона, что используется в качестве основного таксономического признака в работах [70, 71, 77]. Реакции могут учитываться биоценотическими методами, на основе которых предложено структурно-динамическое районирование Земли [71, 77], основанное на концепции сукцессионной системы. В типологическом дендрите 4 растительных зоны, 68 провинций и 174 района, с внутритаксонной однородностью реакций каждого из ценофильных видов (при уникальности видового состава) и определенным набором типов биоценозов. В отличие от ландшафтного районирования границы сукцессионных систем четкие – на них происходит скачок взаимоотношений ценофильных видов (а с ними и ареалологических признаков) со средой обитания. Характерный размер такого района составляет величину порядка 1000 км (т.е. масштаб региона).

Отметим, что и в работе [41] указано на приоритет именно ботанико-географического районирования для задач регионального мониторинга.

Особенностью Кировской области является прохождение по ней границы корневых таксонов - растительных зон Земли - "листопадные деревья с простыми листьями и защищенными почками" (зона листопадных лесов) и "вечнозеленые деревья с игольчатыми листьями и защищенными почками" (зона темно-

хвойных лесов). Эти зоны (рис.3.4) включают два округа: Сухонский (Центрально-таежной провинции зоны темнохвойных лесов) и Ветлужский (Восточно-Европейской провинции зоны листопадных лесов).

3.3. Районирование региона по данным сетей мониторинга

На этапе разработки системы РГСЭМ в каждом регионе необходимо использовать все доступные данные сетей наблюдений ведомств для выявления структурно-однородных территорий региона, причем, согласно принципу минимизации стоимости системы мониторинга, их число должно быть минимальным. Поэтому в типологическом аспекте, основной задачей является выявление структурно-однородных территорий региона по природным факторам и показателям хозяйственной деятельности. Для обеспечения контроля импактных и буферных зон в каждом таксоне создается опорный полигон (ОП) - сеть ключевых участков, где по критериям биодиагностики природных сред и объектов экспедициями ежегодно дается оценка окружающей среды. Для каждого ОП ведомства предоставляют свои информационные ресурсы согласно перечня «приоритетных показателей» для региона по полной номенклатуре

Нами для выявления структурно-однородных территорий Кировской области использованы отчетные данные [65, 71, 78], представленные в, основном, в типологии административных районов ($p = 40$). Исходные векторы $X_n \in \mathbb{R}^{40}$ нормировались на $x_{cp}=0$, $\sigma^2 = 1$ (логарифмически нормально распределенные предварительно логарифмировались) и обрабатывались методами кластерного, регрессионного и факторного анализа.

3.3.1. Использование ТерКСОП для эколого-хозяйственного районирования

Для целого ряда территорий России разработаны Территориальные комплексные схемы охраны природы (ТерКСОП) [65], содержащие огромную информацию о хозяйственном потенциале, ресурсах, окружающей среде, проблемных зонах и другие сведения. В основу ТерКСОП положен методический подход, разработанный ЛенНИИПградостроительства с учетом региональных особенностей. Так например, при оценке воздействия неблагоприятных факторов на компоненты природной среды и здоровье населения, применяются критерии, базируемые на основе действующих нормативов и требований (санитарно-гигиенических, физиологических, экологических, планировочных и др.). При проведении комплексного оценивания помимо количественных показателей для сравнения признаков разной размерности, используются балльные шкалы и экспертные оценки, а также ранговые таблицы. Важным для РГСЭМ обстоятельством является проведение в ТерКСОП анализа в рамках природного районирования территории, а оценки (в том числе зонирования) – на основе административного деления региона.

Поэтому при организации РГСЭМ встает вопрос об анализе материалов ТерКСОП (в части эколого-хозяйственной оценки территорий) и возможности их использования для районирования региона и поиска "информативных" показателей. Ниже приведены результаты численной таксономии данных для



Рис. 3.5. Зональный характер районирования по 22 показателям земельного фонда и уровней воздействия на него



Рис. 3.6. Зональный характер районирования по кластерам и показателям естественных процессов и антропогенного воздействия в лесных массивах

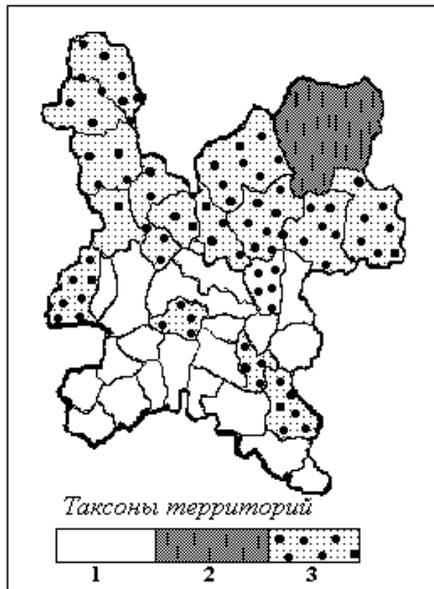


Рис. 3.7. Зональный характер добычи и заготовок промысловых животных



Рис. 3.8. Территориальная дифференциация региона по 13 видам промышленности

ровской области. Для агломерирования территорий в пространстве показателей использован центроидный метод факторного анализа (см. гл. 2), кроме специально оговоренных случаев выбора других метрик.

Показатели земельного фонда и интенсивности воздействий

Для типизации земель по показателям земельного фонда и уровней интенсивности воздействий $X_n^3 \in \mathfrak{R}^{40}$, районирование Кировской области проведено по 22 параметрам и трем группам простых и комплексных показателей.

Территория области делится примерно по широте г.Кирова на обширную северную (с северо-восточной - Верхнекамский район - подзоной), южную (с юго-восточной подзоной Вятско-Полянского района) и центральную (включающую Кирово-Чепецкий и Оричевский районы) зоны (рис. 3.5). К северной зоне относятся также структурно схожие с ней лесистые районы: Верхошижемский, Немский и Кильмезский. На прикорневых уровнях дендрита связей область делится на три - северную, южную и центральную, либо на две - северную и южную зоны.

Лесные площади и уровни лесозаготовки

Для формирования оценок, районизирующих Кировскую область по показателям площадей покрытия лесом преобладающих пород, и оценок уровней воздействия за счет лесозаготовки использован массив из 20 параметров $X_n^7 \in \mathfrak{R}^{40}$ [65]. При таксономии районов ($\nu-2$) уровень районизирует область на три - северную, южную и центральную зоны, а ($\nu-1$) на две - северную и южную зоны (рис.3.6).

Численность зверей и заготовка шкурок

Типизация показателей охотничьих ресурсов $X_n^0 \in \mathfrak{R}^{40}$ (последпромысловая численность и порайонные объемы заготовок шкурок зверей за 1980 -1989 гг. по 17 видам животных [65]) формирует кластеры $q_k(X_n^0)$. На втором этапе - объединение районов по $q_k(X_n^0)$, формируются кластеры территорий. На ($\nu - 1$)-уровне область делится по широте г.Кирова на северную (кроме Верхнекамского района) и южную зоны, исключая лесистые Верхошижемский, Немский и Кильмезский районы, схожие по структуре охотничьих ресурсов $q_k(X_n^0)$ с северными (рис. 3.7).

Индустриальный аспект хозяйствования

Для типизации территорий по показателям индустрии в регионе рассмотрены размещение промышленности в отраслевом разрезе и ее структура по районам области [65]. Кластерный анализ территорий по размещению промышленности районов Кировской области проводился в двух аспектах.

1. Типизация территорий по 13 показателям в отраслевом разрезе.

Область делится примерно по широте г.Кирова (на $\nu-1$ шаге кластерного анализа) на обширные зоны - северную и южную (рис. 3.8). На ($\nu-2$) шаге из южной зоны выделяются территории со сходной структурой размещения промышленности, примыкающие к г.Кирову - это центр области - Кирово-Чепецкий, Оричевский, Котельничский и Куменский районы, а также индустриализированный Верхнекамский район.

2. Типизация территорий по этим же 13 показателям X_n^u в порайонном разрезе (в процентах данного производства от всего объема в районе).

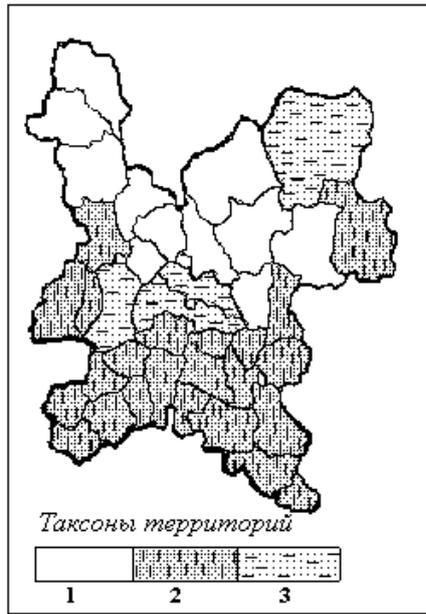


Рис. 3.9. Зональность структуры промышленности (по 13 показателям)

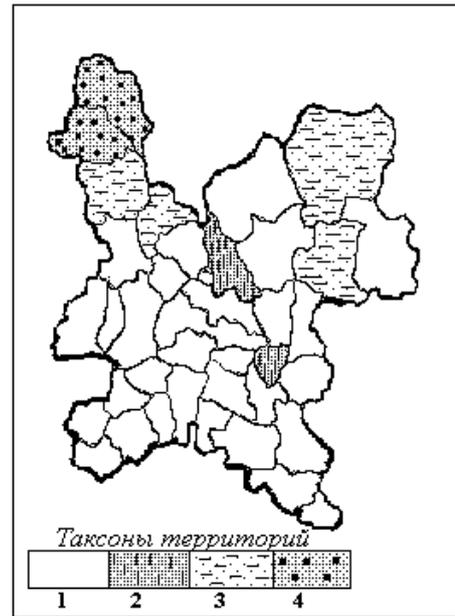


Рис. 3.10. Зональность сельскохозяйственного производства (по 6 показателям)

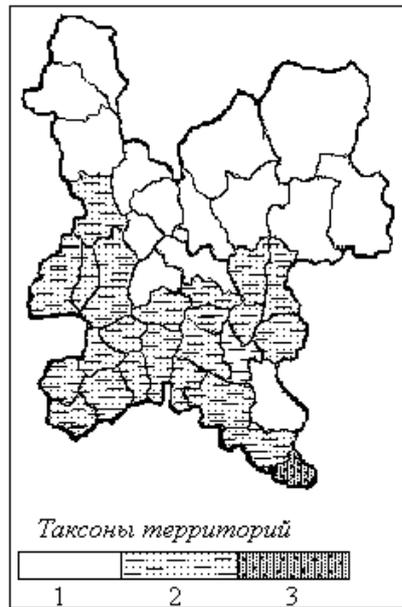


Рис. 3.11. Зональность, проявляющаяся в использовании сельскохозяйственных угодий (по 6 показателям)

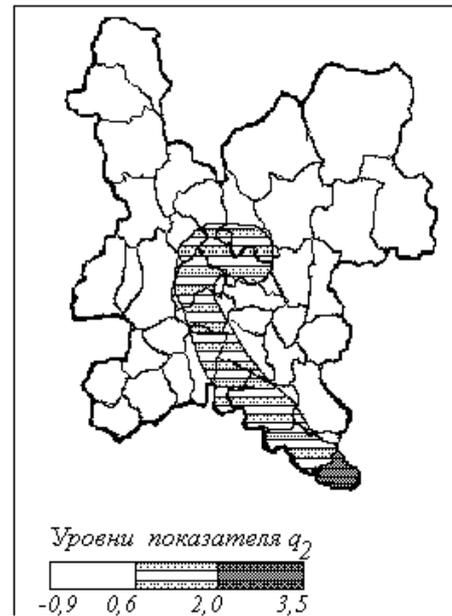


Рис. 3.12. Уровни кластера q_2 , характеризующего земли запаса и под водой

География структуры промышленности, показывает, что область делится по широте г. Кирова на обширные зоны - северную, в которую попадают дополнительно Вятско-Полянский, Кильмезский, Кикнурский и Унинский районы, и южную, включающую также Слободской район (рис. 3.9).

Агротехнический аспект хозяйствования

Для типизации территорий региона в агротехническом аспекте хозяйствования и антропогенной нагрузки анализировались 6 показателей сельскохозяйственного использования земельного фонда. Кластерный анализ (метрика Махаланабиса) на корневом уровне дает два таксона территорий. Граница зон делит область севернее широты г. Кирова (рис. 3.10), образуя: аграрную зону - южные и центральные районы области (кроме Богородского) и крайне неоднородную северную зону, где территории значительно отличаются по использованию земельного фонда под сельскохозяйственное производство.

Интенсивность сельскохозяйственного освоения территорий оценивалась через распределение структуры 6 показателей $X_n^a \in \mathfrak{R}^{40}$, по данным ТерКСОП [65]. По совокупности X_n^a область (рис. 3.11) делится примерно по широте г. Кирова на обширные северную (с дополнительно входящим Кильмезским районом) и южную зоны (с подзоной - Вятско-Полянским районом). Отдельный кластер - г. Киров.

Важнейшей проблемой региона является *эрозионная опасность* для почв. Проведенная типизация территорий области по показателям ТерКСОП [65] (доле эродированных угодий и объему смыва) на два кластера показывает, что эрозионно-опасные земли находятся внутри южной зоны сельскохозяйственного освоения территорий, занимая ее центральную часть (правобережье р. Вятки) и восточную часть - территорию Чепецко-Кильмезского почвенного округа возвышенных полого-увалистых междуречий.

Уровни воздействия на территории

Необходима типизация территорий по основным уровням воздействия в регионе - за счет отходов, сельского хозяйства и лесозаготовки X_k^e [65]. Классификация территорий путем объединения векторов X_k^e на прикорневом ($\nu-1$) уровне дает картину, сходную с биогеографическим зонированием области. На ($\nu-2$) уровне область распадается на северную, южную зоны и центральную промышленную агломерацию г. Кирова и Кирово-Чепецкого района.

Итак, типологический анализ данных ТерКСОП показал что, что природно-климатические особенности региона определяют широтную зональность структуры хозяйства. Характеристики земельного фонда и интенсивности воздействий, площадей покрытия лесом преобладающих пород, и оценок уровней воздействия за счет лесозаготовки, послепромысловой численности и порайонных объемов заготовок шкур зверей, показатели индустрии, использования земельного фонда под сельское хозяйство, основных уровней воздействия в регионе - за счет отходов, сельского хозяйства и лесозаготовки - все дают типологии Кировской области, разделяющие ее на южную аграрную и северную лесопромышленную зоны. С методической стороны отметим системную достаточность признаков X_n , содержащихся в материалах ТерКСОП для территориальной типизации региона.

3.3.2. Показатели природных условий региона

На начальных этапах создания ИПЭО региона необходимо использование максимально широкого списка показателей $X_n \in \mathfrak{R}^p$, с последующим цензурированием номенклатуры X_n и элиминацией незначимых признаков.

В задачах перекрестной таксономии территории Кировской области проанализированы 75 параметров $X_k \in \mathfrak{R}^{40}$ естественных и природно-хозяйственных процессов, по данным за два последних десятилетия. На первом этапе таксономии объединены показатели X_k в пространстве территорий в совокупность 37 кластеров (комплексных оценок) и независимых векторов, по которым на втором этапе перекрестной таксономии проведен поиск сходства районов области. Эта система состоит из двух групп:

- показателей естественных процессов (климата, геологической среды, ландшафтов и фитоценозов) - 25 векторов $X^n \in \mathfrak{R}^{40}$, включающих 21 показатель X^n и четыре кластера параметров: $q_1(X^n)$, $q_2(X^n)$, $q_5(X^n)$ и $q_6(X^n)$;

- показателей антропогенного воздействия - 12 векторов $X^a \in \mathfrak{R}^{40}$, включающих 8 признаков и четыре кластера: $q_3(X^a)$, $q_4(X^a)$, $q_7(X^a)$, $q_8(X^a)$;

Полученные при классификации показателей X^n кластеры являются комплексными оценками естественных природных условий территорий региона.

Кластер $q_1(X^n)$, характеризует земли запаса в структуре земельного фонда и земли под водой. Ареал рельефа поля, построенного на компонентах вектора $q_1(X^n)$ проходит вдоль долины среднего течения р. Вятки, и в нижнем ее течении достигается максимум (рис. 3.12);

Кластер $q_2(X^n)$, характеризует долготу местности и число дней с температурой $T < -10^\circ \text{C}$. В трехбалльной шкале рельефа поля, построенного на компонентах вектора $q_2(X^n)$ отражает градиент холодных зимних дней вдоль широты. Максимум $q_2(X^n)$ на северо - востоке области (рис. 3.13).

Кластер $q_5(X^n)$ характеризует комфортность климата - теплообеспеченность, климатические условия проживания, эквивалентную температуру июля, процент комфортной погоды и число дней с температурой выше $+15^\circ \text{C}$. Градиент комфортности проживания $q_5(X^n)$ направлен к югу области. (рис. 3.14). В ортогональных осях на главный фактор $G^{(1)}(X^n)$ векторов кластера $q_5(X^n)$ приходится 85% дисперсии. При картографировании $q_5(X^n)$ и $G^{(1)}(X^n)$ относительный сдвиг границы зон комфортности климата изображен пунктиром.

"Макроклиматическими инвариантами" проявляются эквивалентная температура июля и процент комфортной погоды (вес пятого главного фактора $G^{(5)}(X^n)$, определяемого, в основном, данными признаками, составляет 0,2%).

Кластер $q_6(X^n)$, характеризующий процент древесно-кустарниковых насаждений в структуре земельного фонда (по видам угодий) и долю прочих земель (по видам угодий) в трехбалльной шкале проявляется единым ареалом в центре области с максимумом в г. Кирове (рис. 3.15).

В итоговой процедуре перекрестной таксономии по 21 показателю и 4 кластерам естественных процессов Кировская область делится на $(\nu-1)$ уровне графа связей на 2 зоны - северную и южно-центральную (рис. 3.16). Из последней зоны на $(\nu-2)$ этапе выделяются центральные районы.

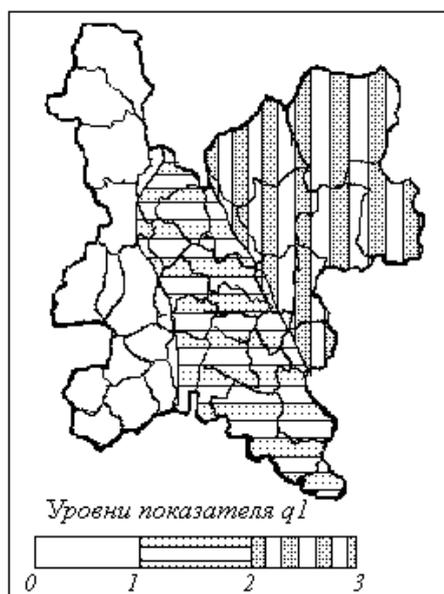


Рис. 3.13. Кластер Q_1 - характеристика градиента холодных зимних дней вдоль географической широты

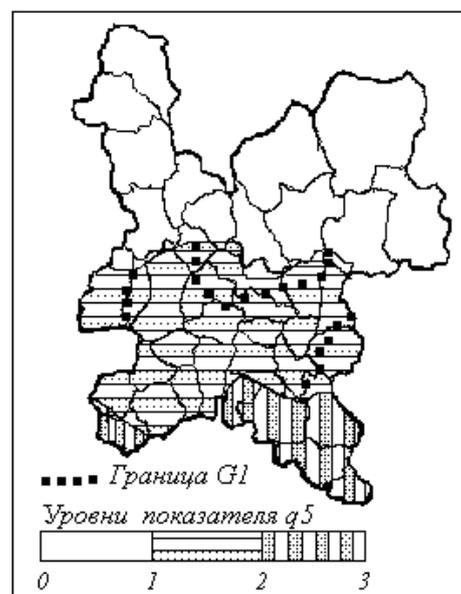


Рис. 3.14. Кластер Q_5 - характеристика комфортности проживания населения региона



Рис. 3.15. Кластер Q_6 - характеристика прочих земель в структуре земельного фонда

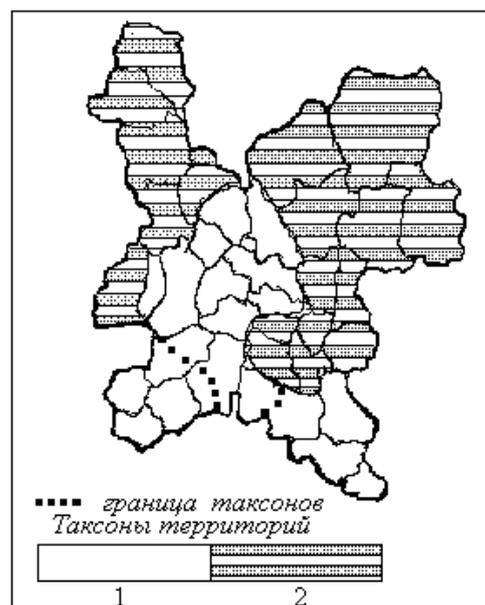


Рис. 3.16. Зональный характер районирования территории по 25 показателям и кластерам естественных процессов

3.3.3. Показатели антропогенного воздействия

Типизация по показателям загрязнения атмосферы

В работе [79] приводятся показатели загрязнений воздуха Кировской области. Кластерный анализ показывает наличие двух групп признаков: первая - твердые частицы, диоксид серы и оксид углерода, и вторая - показатели выбросов диоксида азота, углеводородов, и прочих поллютантов. Второй этап перекрестной таксономии (метрика Махаланобиса) дает три географические зоны (на уровне пяти таксонов, см. рис. 3.17). Мозаичность центральной зоны говорит о пространственно-неоднородной структуре выбросов в агломерации вокруг областного центра. Южная включает промышленный Вятско-Полянский район, схожий с центром и резко отличный Малмыжский район, с низкими значениями всех показателей, кроме углеводородов, по которым он лидер. Остальная территория области - единая зона состояния атмосферного воздуха.

Районирование региона по антропогенным воздействиям

Для районирования Кировской области, использованы полученные выше при классификации 12 независимых параметров X^a и кластеров $q(X_n^a) \in \mathfrak{R}^{40}$.

Независимые векторы X^a : интенсивность использования сельхозугодий, комплексная оценка воздействия сельхозпроизводства, уровень сельхозпроизводства, наличие захоронений отходов, доля нарушенных земель, расстояние от г.Кирова, автотранспортное освоение территории, суммарный сброс промышленных отходов. Полученные 4 кластера показателей являются комплексными оценками антропогенного воздействия на территории региона $q(X_n^a)$.

Кластер $q_3(X_n^a)$ - оценка лесопользования: доля лесных площадей, земли населенных пунктов, объем рубок главного пользования, площадь сплошных вырубок в год, из них лесосырьевых баз, уровень лесозаготовки. Рельеф поля, построенного на компонентах вектора $q_3(X_n^a)$ имеет ярко выраженную зональность (рис. 3.18). В ортогональных осях на главный фактор $G^{(1)}(X_n^a)$ векторной выборки, составляющей кластер $q_3(X_n^a)$, приходится 87% дисперсии маркеров лесопользования. Географический сдвиг оценки границы зоны первого уровня шкалы лесопользования при переходе от картографирования значений от компонент вектора $q_3(X_n^a)$ к $G^{(1)}(X_n^a)$ изображен пунктиром на рис. 3.18.

Кластер $q_4(X_n^a)$ - оценка воздействия за счет урбанизации территории - промышленно-транспортного освоения, включающая долю земель, занятых промышленностью и транспортом, лесохозяйственными предприятиями, дорогами и постройками, общественными дворами, потребление воды в районе, плотность промышленного потенциала и количество вносимых пестицидов.

В трехбалльной шкале (рис. 3.19) для ареала рельефа поля, построенного на компонентах вектора $q_4(X_n^a)$ на 2-м уровне выделяются территории южной части области зоны, а на 3-м уровне - северной (Опаринский район) и в центральной части области вокруг г. Кирова.

Кластер $q_8(X_n^a)$ - оценка сельскохозяйственного освоения территории: земли, занятые под сельскохозяйственное производство, степень распаханности



Рис. 3.17. Территориальные таксоны по двум кластерам показателей выбросов загрязнителей в атмосферу

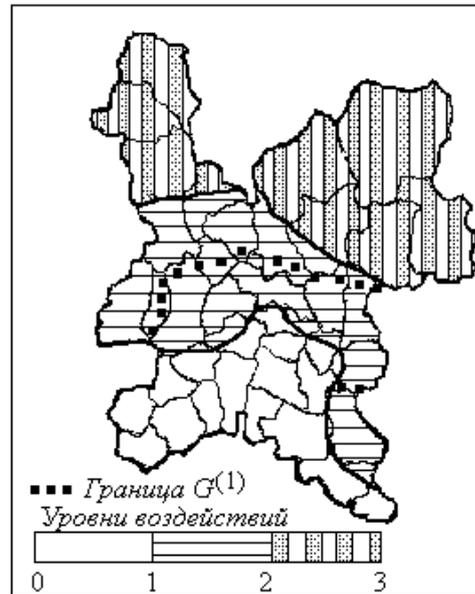


Рис. 3.18. Зональность лесозаготовки в регионе (кластер q_3 , 6 параметров)

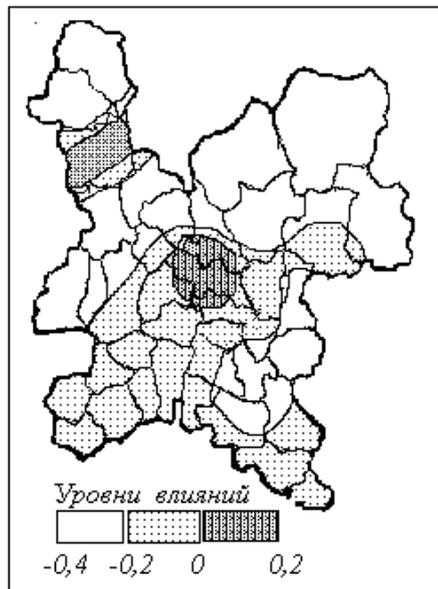


Рис. 3.19. Географическое распределение воздействий за счет урбанизации (кластер q_4)

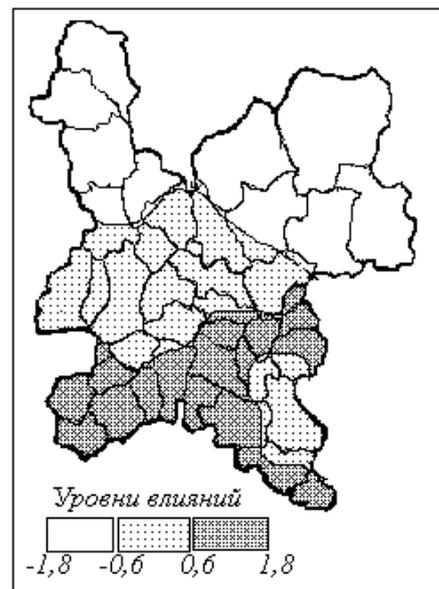


Рис. 3.20. Зональный характер сельскохозяйственного освоения территории (кластер q_8)

территории, земли сельскохозяйственных предприятий в структуре земельного фонда по видам угодий, земли сельскохозяйственных угодий в структуре земельного фонда и интенсивность лесопользования в сельскохозяйственных угодьях. Распределение ареала рельефа поля, построенного на компонентах вектора $q_8(X_n^a)$ в трехбалльной шкале имеет градиент с севера на юг области, и где его значения максимальны (рис. 3.20).

На первую главную компоненту $G^{(1)}(X_n^a)$ векторов X^a , составляющих кластер $q_8(X_n^a)$ приходится 90% дисперсии сельскохозяйственного освоения территории. Переход при картографировании от ареала рельефа поля вектора $q_8(X_n^a)$ к $G^{(1)}(X_n^a)$ географически не заметен при картографировании в 3-балльной шкале, и границы $G^{(1)}(X_n^a)$ соответствуют рис. 3.20. Наибольшая устойчивость в структуре оценки $q_8(X_n^a)$ присуща $G^{(6)}(X_n^a)$, с весом 0,05% (интенсивности лесопользования в сельскохозяйственных угодьях и доле сельскохозяйственных земель - они имеют максимальные нагрузки $w_i^{(h)}$).

Кластер $q_7(X_n^a)$ - оценка воздействия на природу за счет хозяйственной деятельности, включает признаки (X_n^a): комплексные оценки уровней антропогенного воздействия и на поверхностные воды, промышленного производства, транспорта и заселенности территории, оценки гигиенического состояния среды, населенческий индекс урбанизации, количество твердых, жидких и газообразных отходов, выбросы SO_2 , NO_x , CO и внесение минеральных удобрений.

Типизация территорий по 14 векторам кластера $q_7(X_n^a)$ (рис. 3.21) делит область на 4 зоны - центральную (г. Киров, Кирово-Чепецкий и Слободской районы), северо-восточную (Омутнинский и Верхнекамский), южную (Вятско-Полянский) и зону остальных районов. Распределение ареала рельефа поля, построенного на компонентах вектора $q_7(X_n^a)$ в трехбалльной шкале имеет очаг второго уровня шкалы с юго - запада на северо-восток Кировской области и максимальные значения $q_7(X_n^a)$ вокруг областного центра (рис. 3.22).

3.3.4. Типология ландшафтных комплексов региона

К числу важнейших комплексных оценок области относятся показатели ее природно-хозяйственного состояния X_n^L , по которым также необходимо выявление структурно-однородных территорий. В работе [80] В.А. Ключковым проведены расчеты четырех комплексных оценок области $X_n^L \in \mathfrak{R}^{40}$: воздействия сельского хозяйства (доли пашен), средообразующей функции леса (лесистости территорий), эколого-хозяйственного состояния региона, как доли площади земель с низкой нагрузкой к высокой (относительная напряженность по Б.И.Кочурову - Ю.Г.Иванову), антропогенного влияния на природу (индексы антропогенной преобразованности ландшафтов, взвешенные по видам воздействий по методике С.И. Носова - Б.И. Кочурова).

Отметим, что комплексные оценки X_n^L коррелированы ($\rho \in 0,51-0,88$) на уровне значимости 0,01, что требует перехода к главным компонентам $G^{(i)}(X_n^L)$.

Проведенная таксономия территорий по системе X_n^L выделяет на ($\nu-1$) уровне две зоны: примерно по широте г.Кирова - обширную северную, исключая

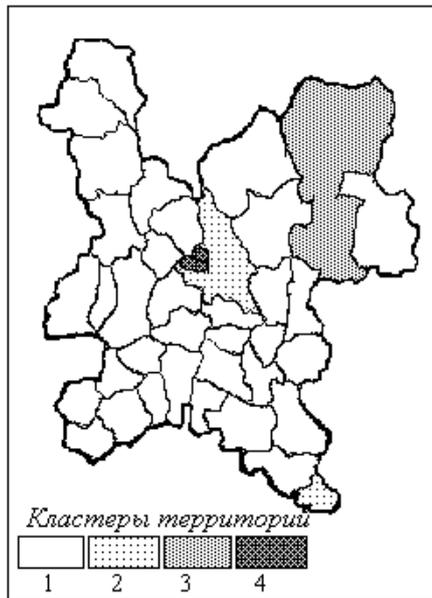


Рис. 3.21. Структура промышленных воздействий по 14 векторам кластера Q7



Рис. 3.22. Уровни промышленного воздействия через интегральную оценку - кластер Q7

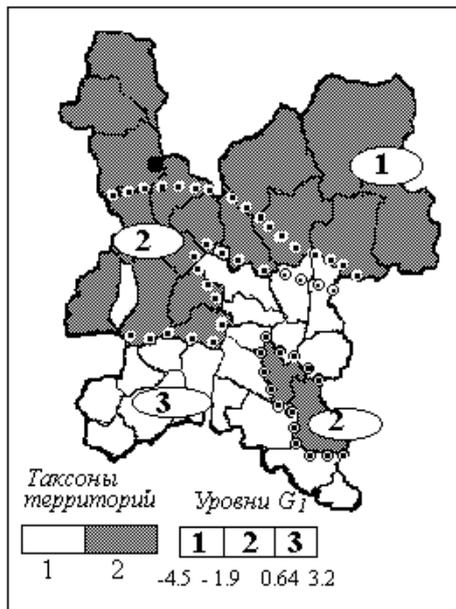


Рис. 3.23. Зональный характер районирования по показателям ландшафтных комплексов территорий (таксоны территорий и уровни значений первой главной компоненты)

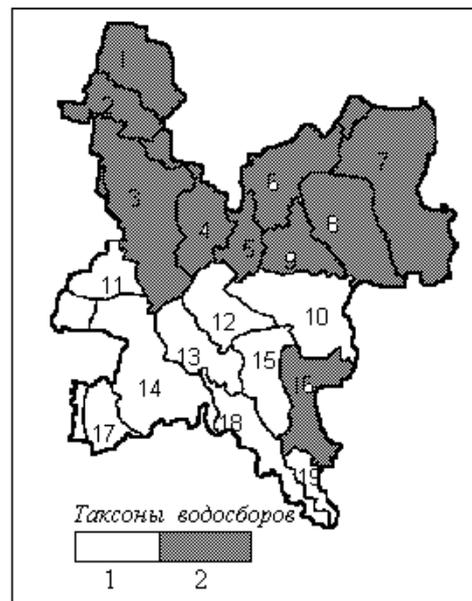


Рис. 3.24. Зональный характер антропогенной трансформации растительности (таксономия 19 малых водосборов)

гранный Свечинский район, и южную, кроме лесистых Немского и Кильмезского районов, схожих с более северными (рис. 3.23).

Пунктиром изображен уровень поля, построенного на компонентах вектора главного фактора $G^{(1)}(X_n^L)$ (86% дисперсии) - комплексной оценки эколого-хозяйственного состояния области. Размежевание ландшафтных комплексов по $G^{(1)}(X_n^L)$ в двухуровневой шкале проходит по границе зон, совпадающих с корневыми таксонами биогеографического районирования Земли [70,71,77].

3.3.5. Зонирование по антропогенной трансформации фитоценозов

Антропогенная трансформация коренной растительности является важнейшим экологическим индикатором, требующим выявления пространственных закономерностей, выбора показателей и организации контроля основного средообразующего фактора. Воздействие человека приводит к замене коренных фитоценозов производными и синантропными видами растительности, что, в свою очередь, вызывает обеднение флоры, упрощение ее состава и тривиализацию, в том числе и в региональном масштабе, замену автохтонов аллохтонами, снижение продуктивности и стабильности сообществ [80].

В работе [6] на материале Кировской области проведено изучение антропогенной трансформации фитоценозов по двум видам - замене коренной растительности вторичными мелколиственными лесами, либо сельскохозяйственными землями. Так на юге региона коренной растительности растительности менее 30%, а сельскохозяйственных земель - более 50 %.

Проведенный кластерный анализ данных $X_n^T \in \mathfrak{R}^p$ работы [6] показал, что по соотношению площадей коренной и вторичной растительности и сельскохозяйственных земель выделяются по структуре антропогенной трансформации растительности два кластера водосборов (рис.3.24, 3.25): центр и юг области (Чепецкий, Ветлужский, Быстрицкий, Средневятский, Пижемский, бассейны р. Вои, р.Кильмезь, р. Б. Кокшаги, Нижне-Вятский правый, Нижне-Вятский левый); север области (Лузский, р.Юг, р.Моломы, р.Великой, р.Летки, р.Кобры, Верхне-Камский, Верхне-Вятский и Бело-Холуницкий).

Такая структура зонирования региона (рис. 3.24, 3.25) определяется двумя причинами трансформации коренной флоры на территории области - лесопромышленной (замена вторичными мелколиственными лесами) и агротехнической (замена сельскохозяйственными землями).

3.3.6. Геоботаническая типизация территории

В работе [6] даны показатели флоры 19 водосборов $X^{(2)}k$ - доля среднетаежных, южнотаежных и подтаежных лесов, болотной растительности, пойменных лугов таежной зоны, вторичных мелколиственных лесов на месте коренных и сельскохозяйственных земель на месте среднетаежных, южнотаежных, сосновых, южной тайги и подтаежных лесов. Проведем на базе этих данных геоботаническое районирование региона.

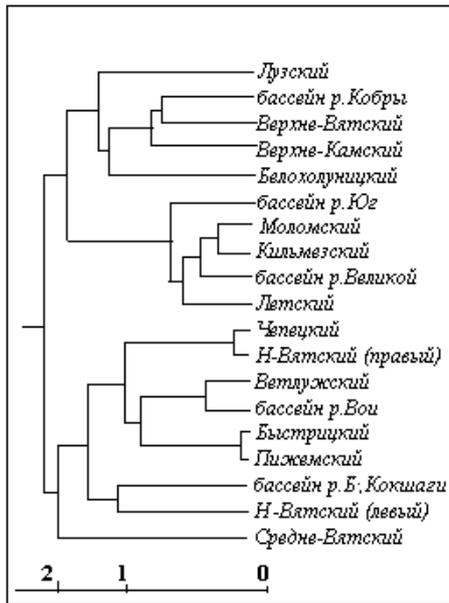


Рис. 3.25. Граф связей водосборных бассейнов по структуре антропогенной трансформации растительных ассоциаций

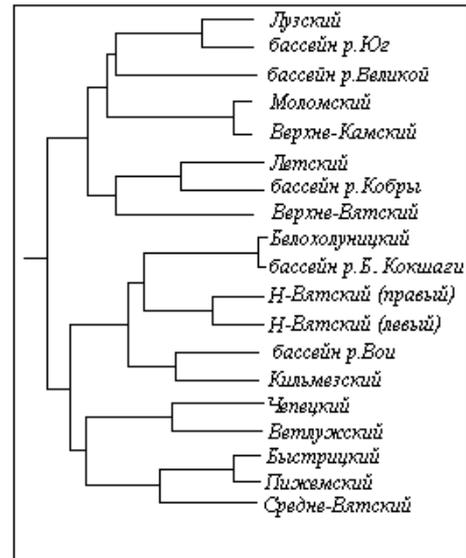


Рис. 3.26. Граф связей 23 геоботанических характеристик водосборных бассейнов

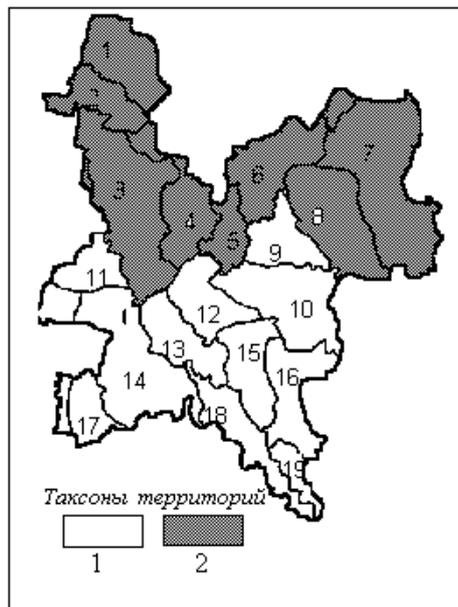


Рис. 3.27. Зональный характер районирования региона по геоботаническим признакам



Рис. 3.28. Типизация региона по показателям структуры ресурсного потенциала

Первый этап таксономии по 19 водосборам области - типизация геоботанических характеристик $X^{(2)}k$. Рассечение дендрита корреляционных связей на $(\nu-1)$ -уровне дает два кластера параметров $q_1\{X^{(2)}k\}$ и $q_2\{X^{(2)}k\}$.

Первый кластер $q_1\{X^{(2)}k\}$ включает: среднетаежные леса (пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые); еловые зеленомошные кустарничковые; еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные, влажные; - южнотаежные леса (средне - и южнотаежные сосновые с елью зеленомошные и лишайниковые кустарничковые; пихтово-еловые и елово-пихтовые травяно-кустарничковые и травяные с участием неморальных трав, пойменные луга таежной зоны разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов, пашни на месте среднетаежных лесов; березовые, осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов).

Второй кластер $q_2\{X^{(2)}k\}$ включает: южнотаежные леса (еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; средне - и южнотаежные сосновые с березой, долгомошные и сфагновые кустарничковые, еловые долгомошные и сфагновые кустарничковые и травяные (влажные)); подтаежные леса (пихтово-еловые сложные с липой, кленом, ильмом в подлеске, широколиственно-еловые и широколиственно-сосновые); болотная растительность (болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые, березово-сосновые и березовые кустарничково-осоково-сфагновые переходные бореальные, сфагновые кассандрово-морошковые грядово-мочажинные верховые, болота лесные березово-сосновые и березовые осоково-разнотравные низинные); пойменные луга таежной зоны (пойменные злаково-разнотравные луга на высоком уровне, крупнозлаковые - на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов, злаково-разнотравные на высоком уровне, крупнозлаковые - на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов); вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных, южнотаежных темнохвойных, сосновых и подтаежных лесов, пашни на месте южнотаежных, темнохвойных, сосновых, подтаежных лесов.

Наиболее близки в кластере $q_2\{X^{(2)}k\}$ показатели: еловые долгомошные и сфагновые кустарничковые и травяные (влажные) южнотаежные леса, широколиственно-сосновые подтаежные леса с болотной растительностью; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые, березово-сосновые и березовые кустарничково-осоково-сфагновые переходные бореальные, болота сфагновые кассандрово-морошковые грядово-мочажинные верховые, болота лесные березово-сосновые и березовые осоково-разнотравные низинные.

Второй этап таксономии дает дендрит по геоботаническим показателям (рис. 3.26). Первый кластер водосборов включает Лузский, Моломский, бассейн р.Юг, бассейн р. Летки, Верхнекамский, Кобринский, Верхневятский, второй - бассейн р.Великой, Белохолуницкий, Чепецкий, Ветлужский, Быстрицкий, Средневятский, Пижемский, бассейн р. Вои, бассейн р.Кильмезь, бассейн р. Б. Кокшаги, Нижне-Вятский правый, Нижне-Вятский левый.

Граница данных территориальных таксонов проходя вдоль всей области, делит ее на северную и южную зоны геоботанических характеристик, и где, по работе [70], структура видового состава и облик коренной ассоциации климакса

отражают термические характеристики микроклимата региона (рис. 3.27). Результат территориально соответствует прохождению по этому широтному поясу границы корневых таксонов Земли - растительных зон, и что, согласно работе [71], требует один - два ОП мониторинга в каждом из районов.

3.3.7. Типология территориальной структуры ресурсов

В задаче рационального природопользования в регионе важны оценки ресурсного потенциала территорий, которые должны входить в банк данных РГСЭМ. В работе [80] через стоимостные оценки интегрального потенциала ресурсов описана ресурсная структура области. При общем потенциале 12,8 млрд.рублей земельные ресурсы получили оценку (в млрд.руб) 3,87, водные - 1,27, лесные - 7,01, ресурсы побочного пользования лесом 0,10 и минерально-сырьевые - 0,54 (рассмотрено пять признаков - векторов $Y^{(p)}$).

Анализ показывает, что на первую главную компоненту $G^{(1)}(Y^{(p)})$ векторов $q_8(X_n^a)$ приходится 50% изменчивости, при следующих компонентных нагрузках: земельные ресурсы - 0,61, водные - 0,25, лесные - 0,59, ресурсы побочного пользования - 0,39 и минеральные - 0,26. Поскольку $G^{(5)}(Y^{(p)})$ с весом 0,001 определяется векторами земельных и лесных ресурсов, с компонентными нагрузками 0,73 и 0,67, соответственно, на порядок превышающими значения для остальных показателей, то они наиболее устойчивы в оценке ресурсного потенциала в регионе (инварианты мониторинга).

Проведенный по пяти векторам $[G^{(j)}(Y^{(p)})]_n$ кластерный анализ (метрика Евклида) структуры ресурсного потенциала дает зоны, приведенные на рис.3.28. Взвешивание при классификации по методике работы [16] проводилось увеличением числа векторов - размерности пространства признаков $\mathfrak{R}^{G^{(j)}}$, пропорционально компонентным нагрузкам $G^{(j)}(Y^{(p)})$ для $G^{(1)}(Y^{(p)})$ - 10, для $G^{(2)}(Y^{(p)})$ - 4, для $G^{(3)}(Y^{(p)})$ - 3, для $G^{(4)}(Y^{(p)})$ - 3, и для $G^{(5)}(Y^{(p)})$ - 0 (векторов). По результатам таксономии (см. рис. 3.28) область можно разделить на две широтные зоны: мозаичную северную - 4 кластера и однородную южную, куда вклиниваются кластеры территорий Арбажского и Советского районов.

3.3.8. Типология социальной среды области

Согласно современным представлениям, основная доля дисперсии показателей социального здоровья $Y^{(c)}$ региона, обусловлена обстоятельствами жизни населения (так например, для онкологических патологий до 90% [81,82]). Поэтому выявление социальных индикаторов $X^{(c)}$ требуется для обеспечения системной полноты базовых моделей РГСЭМ $Y^{(c)} = Y^{(c)}[X^{(c)}, X^{(g)}, X^{(n)} \dots]$.

Нами анализировались данные государственной статистики по социальной среде Кировской области (матрица 189×40) [65, 78, 83, 84], за 1989-1995 гг. На 1 этапе векторы $X^{(c)} \in \mathfrak{R}^{40}$ объединялись в кластеры (матрица 72×40), часть признаков $X^{(c)}$ осталась независимой на значимых уровнях. Рельефы полей векторов $q_k^{(c)}(X^{(c)})$, интерпретируемые как социальные факторы приведены в работе [32]. Выявился наиболее "емкий" кластер $b_s(X_k^{(c)})$, объединяющий на значимом уровне 90 векторов $X_k^{(c)}$. Ареал рельефа поля, построенного на компонентах

вектора $b_s(X_k^{(c)})$ на третьем уровне шкалы включает г.Киров, на втором – центр области (Слободской, Кирово-Чепецкий и Куменский районы), на третьем – остальные районы.

По показателям $X^{(c)}$ проведена классификация территорий (рис.3.29). Так условия жизнедеятельности населения представлены 16 показателями и кластерами - процент работающего населения, рабочих и колхозников, служащих, занятость в промышленности, в сельском хозяйстве и лесной промышленности, в торговле, среднемесячная зарплата, удельный вес трудоспособного мужского населения, расстояние до г.Кирова, процент проживающих в частных домах, в отдельной квартире, в общежитии, наличие водопровода, средний уровень благоустройства, объем платных услуг населению и кластеры, отражающие численность школ, библиотек, клубных учреждений, и "генерализующий фактор" $b_s(X_k^{(c)})$. На корневом уровне графа связей Кировская область по условиям жизни населения делится на северную и южную зоны, что, по-видимому, через специфику хозяйства отражает и природные факторы.

3.4. Выбор местоположений полигонов регионального фона

Проведенные выше типизации показывают, что в таксономии области основные субтерриториальные экологические единицы географически близки к растительным зонам биогеографического районирования, что отражается и в зональности хозяйственной деятельности и социума. В биогеографических районах экологические реакции видов различны, что требует не менее одного ОП на район [71] (с площадью порядка 100 кв.км [41]). Назначение ОП состоит в оценке фонового состояния экосистем данного таксона территорий.

Типизация территории на биоклиматические области делает возможным в каждой развертывание полигона фонового фитомониторинга [47]. Проведенные выше классификации позволили сгруппировать территории региона в кластеры - две структурно-однородные зоны: северную (дополнительно с анклавным Кильмезским районом), с определяющим лесоресурсным циклом хозяйствования и южную, с сельскохозяйственным циклом возобновимых ресурсов. Каждая зона требует опорного полигона (ОП) как представительного минимума территорий контроля, помещаемого в центральные объекты скоплений каждого кластера территорий. В большинстве рассмотренных типологий ($p = 40$) центральным объектом для северного кластера является Подосиновский район, а для южного – Уржумский и Советский.

Для проведения РГСЭМ для первой зоны установлен Кайский ОП, а для второй - Атарский ОП, и, дополнительно, Тулашорский и Нургушский ОП. Отметим, что согласно работе [85] постоянных станций РГСЭМ, может и не быть, а контроль производится через несколько лет. С позиций эколого-ландшафтного районирования территории области Кайский ОП представляет фоновое состояние средне - таежной зоны (ландшафт лесных угодий), Тулашорский ОП - южно-таежной зоны (ландшафт лесных угодий), Нургушский ОП - южно-таежной зоны (таксон пахотных угодий) и Атарский - южно-таежной ландшафтной зоны (таксон пахотных угодий).

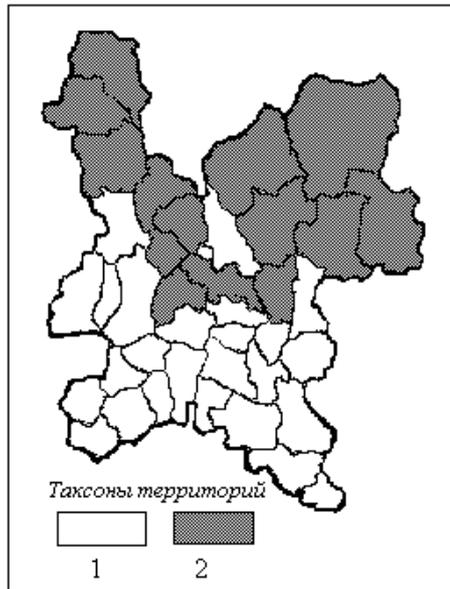


Рис. 3.29. Зональный характер условий жизнедеятельности населения (классификация по 16 показателям и кластерам)

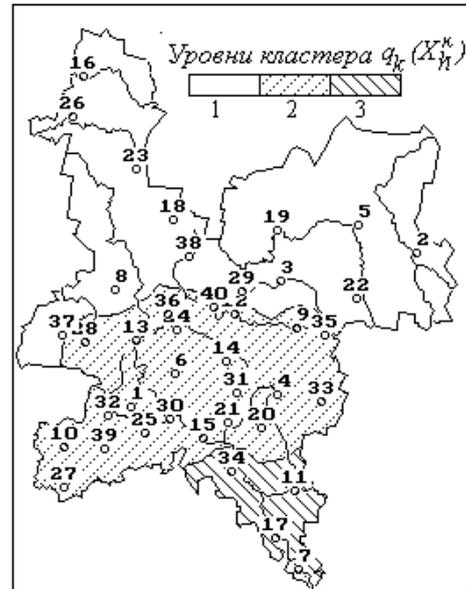


Рис. 3.30. Географическое распределение уровней "климатического кластера"

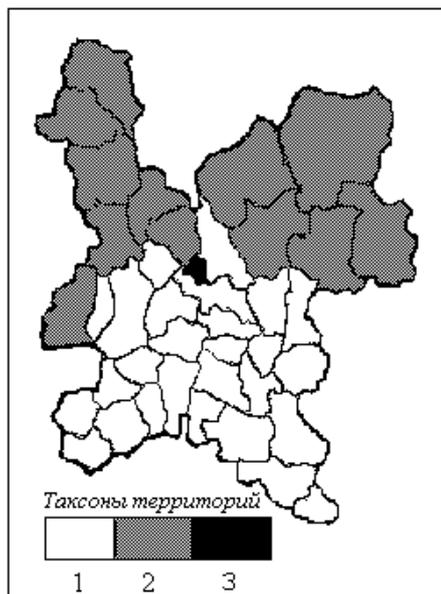


Рис. 3.31. Зональный характер районирования территорий региона по состоянию природного комплекса (классификация по 21 показателю и 4 кластерам)



Рис. 3.32. Итоговое эколого-хозяйственное районирование Кировской области и расположение опорных полигонов

3.4.1. Влияние лимитирующих факторов климата на фитоценозы

Считается, что типы биогеоценозов определяются как зональным (климатическим), так и азональным (литогенным) лимитирующими факторами. Создание рабочей типологии РГСЭМ требует установления количественного влияния лимитирующих факторов климата. Так, например согласно работе [71], средние температуры самого холодного и самого теплого месяцев обуславливают границы фитоареалов. Поэтому при создании рабочей типологии РГСЭМ необходима ее верификация на адекватность полученного районирования ареалогическим признакам флоры.

Проанализируем воздействие климата на показатели биогеографических округов, основываясь на наборе признаков - 11 климатических показателях X^K по данным ТерКСОП [65], формирующих регрессоры и расчетных оценках эколого-хозяйственного состояния области $X^L_n \in \mathfrak{R}^{40}$ (см. п. 3.2.3.). За отклик модели возьмем первый главный фактор ландшафтных комплексов $G^{(1)}(X^L_n)$.

Кластерный анализ (центроидный метод) дает пять таксонов: четыре признака X^K_n - количество осадков, высоту снегового покрова, число дней со снегом, дней с $t < -10\text{C}^\circ$ и "климатический" кластер $q_k(X^K_n)$ первых этапов объединения ($R=0,99-0,84$), включающий эквивалентную температуру июля, процент комфортной погоды, продолжительность периода с $-5 > t > -15\text{C}^\circ$, продолжительность периода с $T > 15\text{C}^\circ$, уровень теплообеспеченности ($+10\text{C}^\circ$), скорость ветра в январе, число дней с метелью (рис.3.30.)

Проведенный анализ зависимости параметров биогеографических округов (в форме первой главной компоненты $G^{(1)}(X^L_n)$ показателей ландшафтных комплексов) от факторов $q_k(X^K_n)$, X^K_n в линейной модели:

$G^{(1)}(X^L_n) = \{a, | q_k(X^K_n), X^K_n\} + \varepsilon$ дает $R=0,77$. Критерий Фишера $F=2,1$ (для $\nu=39/34$) значимо определяет связь параметров округов и показателей климата. Поскольку все регрессоры X^K незначимы ($t < 2$), кроме климатического кластера $q_k(X^K_n)$ ($t=5,1$ при вкладе в дисперсию $0,57 \pm 0,23$), то после их элиминации, рассмотрены нелинейные модели обусловленности оценки $G^{(1)}(X^L_n)$ одним фактором $q_k(X^K_n)$:

1. В модели $\Phi_1[(q_k(X^K_n))]$ как полного полинома 4-й степени:

$$G^{(1)}(X^L_n) = \{a, \Phi[(q_k(X^K_n))]\} + \varepsilon$$

коэффициент множественной корреляции $R = 0,856$.

2. В логистической модели $\Phi_2[(q_k(X^K_n))]$ Ферхюльста:

$$G^{(1)}(X^L_n) = [1 - \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot q_k(X^K_n))]^{-1} + \varepsilon$$

где параметры $\alpha = 7$, $\beta = 0,01$, $R = 0,83$.

3. В модели, с откликом в виде функции желательности Пена-Менчера от $G^{(1)}(Y^{(p)})$ и с аргументами - квадратичным полиномом кластера $q_k(X^K_n)$:

$$\exp\{-[G^{(1)}(X^L_n)/\beta]\} = a_1(q_k(X^K_n)) + a_2[(q_k(X^K_n))]^2 + \varepsilon$$

При критериях Стьюдента с $t = 7,4$ и $t = 6,8$ для коэффициентов регрессии a_1 и a_2 и критерии Фишера $F=4,9$ (для $\nu=39/37$), модель значима. Поскольку $R_{yy} = 0,90$, то по χ^2 - критерию допускается две градации отклика (вектора, с координатами - функциями Пена-Менчера от фактора $G^{(1)}(X^L_n)$).

Картографирование рельефа поля, построенного на компонентах вектора невязки ε модели выделяет следующие очаги: Немско-Кильмезкий и правобережье р.Чепцы (Белохолуницкий и Омутнинский) на востоке области и Котельничско-Шабалинский и Опаринский на ее западе, где обобщенная оценка $G^{(1)}(X_n^L)$, как параметр округов, не полностью может быть объяснена влиянием климата. Учет литогенного фактора не проводился из-за отсутствия структуризованных оценок геологических и почвенных характеристик. Дополнительное введение коэффициента увлажнения X^s (от 1,35 на севере области до 0,95 на юге [86]), определяющего водный режим почв (выщелачивание и плодородие) не улучшает качества модели по γ^2 – критерию, фактор явно зонален и при его добавлении X^s в модель 3, скоррелирован ($\rho = 0,944$) с $\{a_1(q_k(X_n^K) + a_2[(q_k(X_n^K))]^2\}$. Отметим, что комплексная оценка - кластер $q_k(X_n^K)$ отражает зональный фактор, картографирование его рельефа поля (рис. 3.30), построенного на компонентах данного вектора дает изолинии, параллельные широте.

Макроклиматическую клинальность природных условий через структуру основных видов хозяйства в области отражают $q_8(X_n^a)$ - оценка сельского хозяйства и $q_3(X_n^a)$ - оценка лесопользования. Кроме того, отметим, что изолиния плотности сетей ρ всех точек наблюдений ведомств Кировской области (значение $0,01 \text{ км}^{-2}$) проходит по границе растительных зон (для зоны темнохвойных лесов $\rho_T < 1$, листопадных $\rho_L \in (1; 4)$). Тем самым структура коренной растительности определяет не только хозяйствование, но и плотность сетей всех видов мониторинга (отношение плотностей по зонам $\rho_L / \rho_T = 6$).

Однако, невысокое качество моделей (максимальное значение $R_{yy} = 0,90$), что по γ^2 – критерию допускает 1–2 градации отклика, что позволяет говорить лишь об общих тенденциях, связывающей показатели термических характеристик климата с данными о составе флоры, а с нею, опосредованно, статистически определяемыми ею видами хозяйственной деятельности, характером воздействий на окружающую среду и условиями жизнедеятельности населения.

3.4.2. Базовая модель районирования РГСЭМ

При выборе биогеографической типологии региона (по ареалогическим признакам флоры) как базовой модели РГСЭМ, необходимо изучить вопрос об адекватности ее типологии зонам эколого-хозяйственного состояния территории.

Районирование территорий, однородных по системе показателей ландшафтных комплексов региона $X_n^L \in \mathfrak{R}^{40}$, представленное на рис.3.23 дает северную и южную зоны, а классификация на (ν -2) уровне, выделяет также таксон территории областного центра. Ниже в работе за описание этих зон принята $G^{(1)}(X_n^L)$ - первая главная компонента признаков X_n^L , вобравшая 85,5% общей дисперсии показателей X_n^L . В модели: $G^{(1)}(X_n^L) = \{a, q(X_n)\} + \varepsilon^{(1)}$, рассмотрена обусловленность оценки $G^{(1)}(X_n^L)$ системой некоррелированных регрессоров - характеристик климата, геологической среды, ландшафтов и фитоценозов - 25 векторов $X^n \in \mathfrak{R}^{40}$, включающих 21 показатель X^n и четыре кластера параметров - $q_1(X_n^n)$, $q_2(X_n^n)$, $q_5(X_n^n)$ и $q_6(X_n^n)$. Типизация области по этим 25 векторам X^n приведена на рис. 3.31.

Выявляется три значимых регрессора - $q_3(X_n)$, $q_8(X_n)$, $q_4(X_n)$ и после элиминации незначимых $q_5(X_n)$, $q_6(X_n)$, $q_1(X_n)$, модель принимает вид:

$$\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L) = \{\mathbf{a}, \mathbf{q}(X_n)\} + \boldsymbol{\varepsilon}^{(2)}, \text{ где вектор } \mathbf{a} = (0,42; 0,13; 0,56), R_{yy} = 0,99.$$

Итак, эколого-хозяйственное состояние региона, в оценке через главный фактор $\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)$, определяется в пространстве тройки кластеров с вкладками:

- $q_3(X_n)$, - лесопользование, вес $P_1 = 0,42 \pm 0,08$, критерий Стьюдента с $t = 4,5$; значение $R_{yy} = 0,98$ дает три уровня шкалы влияния фактора на $\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)$;
- $q_8(X_n)$, - сельскохозяйственная освоенность территории (вес $P_2 = 0,56 \pm 0,10$, критерий Стьюдента с $t = 6,2$), $R_{yy} = 0,95$ допускает две градации шкалы;
- $q_4(X_n)$ - промышленно-транспортная нагрузка на территории, вес $P_3 = 0,03 \pm 0,01$ (критерий Стьюдента с $t = 3,0$).

Для анализа качества проведенной географической таксономии сделано сравнение выборок бутстреп-методом. Средние бутстреп-значения комплексной оценки ландшафтных комплексов $\{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\}_{\text{cp}}$ и доверительные бутстреп-интервалы $\delta_6 \{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\}$, рассчитанные для вероятности $p = 0,95$, составляют:

- Ветлужский округ (выборка 26 районов), при $\{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\}_{\text{cp}} = -2,26$, бутстреп-оценка доверительного интервала: $\delta_6 \{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\} \in [-2,32, -2,17]$;
- Сухонский округ (выборка 13 районов), при $\{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\}_{\text{cp}} = 1,05$, бутстреп-оценка доверительного интервала: $\delta_6 \{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\} \in [0,99-1,10]$.

Такая взаимная удаленность границ бутстреп-оценок доверительных интервалов выборок $\delta_6 \{\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)\}$ говорит об адекватности данной типологии зонам эколого-хозяйственного состояния территории, что подтверждает адекватность выбора биогеографической таксономии как базовой.

Данная модель устанавливает адекватность зон эколого-хозяйственного состояния территории ареалогическим признакам флоры на уровне не ниже 4-х градаций шкалирования признака (по χ^2 , - критерию качества моделирования) и взята как базовая для РГСЭМ Кировской области. Географическое совпадение границ зонирования области по тренд - вектору $\mathbf{T}_{in} = \{\mathbf{a}, \mathbf{q}(X_n)\}$ модели и главному фактору показателей ландшафтных комплексов $\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{X}_n^L)$ определяет ареалогическую границу флоры, а с нею и рубеж ($\mathbf{G}^{(1)}(\mathbf{Y}_n) = 0$) двух зон эколого-хозяйственного состояния территории области.

Оценка логистического характера перехода через границу зон

Предположение о доминировании зонального географического фактора в формировании значений оценок \mathbf{X}_n экологической ситуации в регионе, полагает изменение \mathbf{X}_n с широтой местности s_p . При переходе через границу растительных зон в зависимости от широты s_p показатели \mathbf{X}_n могут непрерывно изменяться, или не обнаруживать широтной клинальности, либо меняться "скачком". Для выявления логистической формы кривой $\mathbf{X}_n(s_p)$ сравнивались коэффициенты регрессии в 42 линейных моделях вида:

$\mathbf{X}_n = \{\mathbf{a}, (\sum s_p S_p / \sum s_p)\} + \boldsymbol{\varepsilon}$, где S_p и s_p - соответственно широта и площадь p - элементарной субрайонной единицы, входящей в Сухонский (число степеней свободы $\nu_1 = 13 - 1 = 12$) и в Ветлужский округа ($\nu_2 = 25$). Для всех показа-

телей критерии достоверности коэффициента регрессии (модуль отношения коэффициентов регрессии ($R_{x/y}/R_{y/x}$) превышают предельные значения критерия t :

$t = 2,18$ (уровень значимости 0,05), $t = 3,06$ (0.01) для Сухонского округа, а для Ветлужского округа $t = 2.06$ (уровень 0,05), $t=2.8$ (0.01). Согласно критерию значимости $R_{x/y}/R_{y/x}$ все коэффициенты регрессий достоверны.

Таблица 3.2

Значения коэффициентов регрессии для показателей при переходе через границу растительных зон

Показатели, без S - образного характера X_n (s_p) при переходе ($\times 100$)											
$G^{(1)}(X_n^L)$	$q_3(X_n)$	$q_7(X_n)$	a_4	z_1	k_7	q_1	L_4	k_4			
<i>Показатели для зоны темнохвойных лесов (Сухонский округ)</i>											
-13±6	7,2±3,4	7,1±3,9	-4,2±7	5,7±4,6	5±7	0,4±2,2	2,4±1,3	2±7			
<i>Показатели для зоны листопадных лесов (Ветлужский округ)</i>											
-14±5,5	6,2±3,5	10±6,2	3±6	2,7±8	9,4±6,1	-6±8	22±1	-6±7			
Показатели, имеющие S - образный характер X_n (s_p) при переходе ($\times 100$)											
a_1	$q_8(X_n)$	b_3	x_8	y_9	$q_5(X_n)$	q_6	k_9	L_2	L_1	k_8	
<i>Показатели для зоны темнохвойных лесов (Сухонский округ)</i>											
-22±6	-7±3	7±7	12±7	2±5	-17±3	0±1	-16±8	3±2	7±8	9±6	
<i>Показатели зоны листопадных лесов (Ветлужский округ)</i>											
7±4	-12±3	14±5	4,5±2	21±6	-23±2	15±6	-10±5	7,5±1	14±5	24±5	
0,81	0,69	0,81	0,95	0,62	0,83	0,055	0,83	0,76	0,84	0,75	C
18	23	18	13	26	17	28	17	20	17	20	ν
3,92	1,72	1,74	1,74	2,48	1,74	2,47	1,74	2,09	1,74	1,72	$t_{теор}$
4,00	1,05	0,71	0,71	2,47	1,68	2,47	0,62	2,19	0,74	1,92	$t_{эксн}$
0,001	0,1	>0,1	>0,1	0,02	>0,1	0,02	>0,1	0,05	>0,1	0,1	d_S

Критерий различий $t_{эксн}$ коэффициентов регрессий B_1 и B_2 вычисляется:

$t_{эксн} = |B_1 - B_2| / (\sigma_1^2/n_1 - \sigma_2^2/n_2)^{0,5}$, где c и ν рассчитываются согласно [87]: $c = (\sigma_1^2/n_1) / (\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)$; $1/\nu = c^2/\nu_1 + (1-c)^2/\nu_2$.

В табл. 3.2 приведены $t_{теор}$ и $t_{эксн}$ - теоретические и найденные числа Стьюдента при сравнении коэффициентов регрессии, соответствующие уровню значимости d_S . Согласно табл. 2 по критерию различий коэффициентов регрессий достоверно претерпевают скачок только a_1 , y_9 , q_6 и L_2 : устойчивость геологической среды, покрытая лесом (хвойные средневозрастные) площадь, древесно-кустарниковые насаждения (и прочие земли) в структуре земельного фонда и количество дней со снежным покровом. Остальные характеристики не претерпевают скачка при переходе через границу зон с вероятностью 0,95. Отметим также и тот факт, что граница растительных зон в точности соответствует территориальному рубежу между пермской (татарский ярус, отложения пустынь и лагун) и триасовой системами (отложения песчаных, каменистых и глинистых пустынь) [67], что, по-видимому, и определило логистический характер a_1 .

ГЛАВА 4. ИНФОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ РГСЭМ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Поскольку по сравнению с импактным уровнем, в региональном масштабе источники воздействия на природный комплекс не локализованы, и изменчивость индикаторных признаков, отслеживаемых сетями наблюдений, обусловлена, в основном, естественными факторами. Поэтому, в задачах информационной поддержки ЛПР требуется применение возможно более информативных маркеров экологического состояния региона. Подобные признаки, наряду с уверенной индикацией экологической обстановки, должны быть достаточно общими, генерализующими случайные колебания средовых условий – например интегральными показателями.

Выбор "информативных показателей" подразумевает и обоснование данных диагностических признаков – экспертное (описательное), или, по некоторому формальному критерию, полученному в численном моделировании обусловленности экологического состояния территорий факторами среды. Во втором случае, задача также не является чисто формальной. Состояние территории региона, отслеживаемое десятками сетей наблюдений, описывается множеством из сотен векторов показателей. Поэтому, в каждой конкретной задаче поддержки ЛПР (оценке территории, прогнозе и др.) данное множество экспертным путем разбивается на два подмножества векторных выборок. Первое – множество диагностических признаков состояния территории Y_k , а второе – множество индикаторов факторов окружающей среды X_n , причем первый этап основной задачи РГСЭМ – поддержки выбора решений ЛПР сводится к сокращению размерности обеих выборок.

Ниже рассмотрен ряд таких показателей со значимыми весами, которые должны входить в сетевые информационные ресурсы РГСЭМ. Указанные X_n , формирующие комплексные оценки, будут "приоритетными показателями РГСЭМ". Признаки получены на материале ведомств Кировской области.

4.1. Хозяйственная деятельность и состояние окружающей среды

Поиск диагностических признаков состояния территорий Y_k , а также индикаторов факторов окружающей среды X_n можно производить анализируя их степень близости (по ковариационной матрице, показателям расстояния). Этим устанавливаются группы векторов, близких в смысле выбранной метрики. Наличие группы векторов X_n , образующих кластер $q(X_n)$, позволяет, разбив их на отклик и предикторы X_n задачи регрессии моделировать их взаимную обусловленность в зависимостях $Y = Y(X_n)$ – получать комплексные оценки антропогенного воздействия на природную среду, как вероятные мониторы РГСЭМ.

4.1.1. Гигиеническое состояние среды

Рассмотрим как подобный набор предикторов и отклик систему взаимнокоррелированных векторов, входящих в комплексную оценку воздействия на окружающую природную среду за счет хозяйственной деятельности – кластер (факторный центроид) $q_7(X_n^a)$, полученный в предыдущей главе. В

систему векторов $q_7(X_n^a)$, входит оценка гигиенического состояния среды. Используем ее как вектор отклика Q , а остальные 13 исходных показателей кластера $X^a \in \mathbb{R}^{q7}$ - как матрицу регрессоров ($\mathbb{R}^{q7} \rightarrow \mathbb{R}^m$). В линейной модели :

$$Q = q_7(X_n^a), a + \xi,$$

критерий Фишера $F = 2,5$ говорит о значимой связи, по χ^2 -критерию $N_s = 2$, допускается две градации Q_j . Наибольший вклад в Q_j у оценки воздействий за счет заселенности территории и воздействий на поверхностные воды.

Тренд-вектор $(Q_j - \xi_j)$, как оценка Q_j совокупного вклада 13 показателей в гигиеническое состояние территории, ареал рельефа поля, построенного на компонентах тренд-вектора картографирован на рис. 4.1. Область подразделяется на центральную зону (г.Киров, Кирово-Чепецкий и Слободской районы), южную (Вятско-Полянский район) и территорию остальных районов.

После элиминации факторов с малым вкладом (оценок уровня антропогенного воздействия и уровня промышленного производства, количества жидких и газообразных отходов и выброса окиси углерода), решение задачи регрессии гигиенического состояния среды Q_j также значимо: $R_{yy} = 0,85$, критерий Фишера $F = 2,7$; по критерию Стьюдента на уровне 0,05 значимы вклады факторов воздействия на поверхностные воды и количества твердых отходов.

Компонентный анализ остальных 10 факторов кластера $q_7(X_n^a)$ дает 72% дисперсии для первой главной компоненты $G^{(1)}(X_n^a)$. Объемность (соизмеримость вкладов собственных векторов) в $G^{(1)}(X_k)$ делает ее представительной оценкой системы (X_n^a) . Картографирование ареала рельефа поля, построенного на компонентах вектора $G^{(1)}(X_n^a)$ на третий уровень шкалы выдвигает центр области и южные Вятско-Полянский и Советский районы).

Инвариантами воздействия на природу в результате хозяйственной и бытовой деятельности (10 главная компонента $G^{(10)}(X_n^a)$, вес 0,6%) служат уровень заселенности территории и количество вносимых минеральных удобрений.

Итоговая классификация по уровням воздействия выделяет три зоны с различным воздействием факторов хозяйствования в регионе, определяющими гигиеническое состояние среды (рис. 4.2):

- 1 уровень - центральная зона - г.Киров, Кирово-Чепецкий и Оричевский районы;
- 2 уровень – юг области (Вятско-Полянский район);
- 3 уровень (остальные районы) с низким антропогенным воздействием.

Эти 12 параметров и кластеров должны быть маркерами гигиенического состояния среды в результате антропогенного воздействия на нее.

4.1.2. Воздействие на поверхностные воды

Другой индикаторной характеристикой - вероятным монитором РГСЭМ, входящей в кластер $q_7(X_n^a)$, является ТерКСОП-оценка воздействия на поверхностные воды. Рассматривая ее как отклик Q , а остальные 12 показателей кластера $X^a \in \mathbb{R}^{q7}$ - как регрессоры линейной модели:

$$Q = q_7(X_n^a), a + \xi,$$

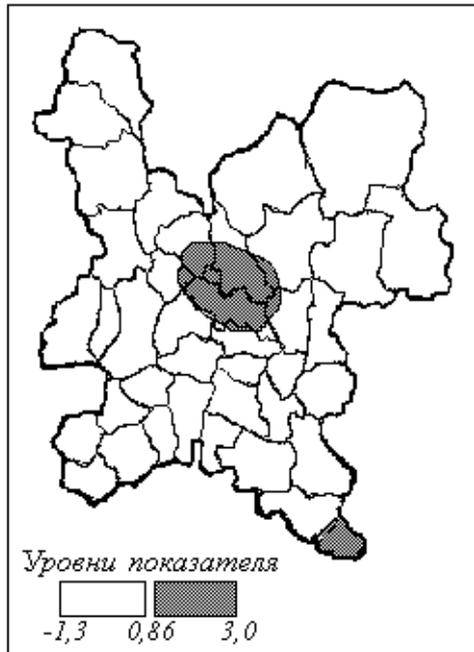


Рис. 4.1. Районирование территории по 13 показателям гигиенического состояния



Рис. 4.2. Итоговая классификация суб-территориальных единиц по факторам хозяйственной деятельности

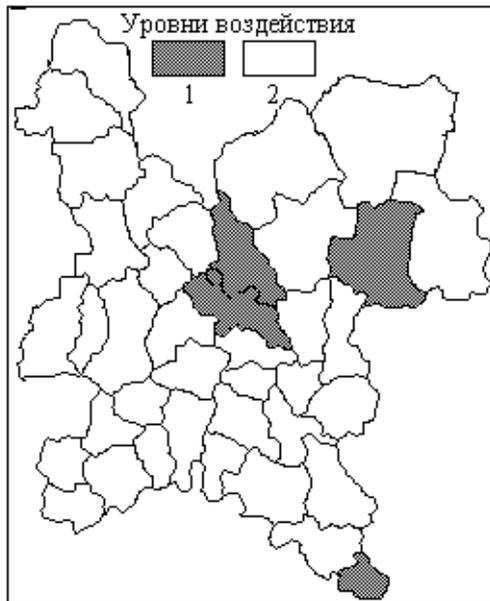


Рис. 4.3. Уровни антропогенного воздействия на поверхностные воды $G^{(1)}(X_i)$



Рис. 4.4. Влияние эколого хозяйственного состояния территорий - кластеры $q(X_n)$ на ландшафтные комплексы $G^{(1)}(X_n^L)$

получим значимую связь (критерий Фишера $F = 2,5$). По γ^2 -критерию $N_s = 2$ и допускается две градации отклика Q . Наибольшие вклады в воздействие на поверхностные воды принадлежит ряду взаимно коррелированных индикаторов общего фактора хозяйственной деятельности - оценок воздействий - комплексной оценки антропогенного воздействия, уровня заселенности территории, транспортной нагрузки, выбросов SO_2 , NO_x и др. Оценка ($Q_j - \xi_j$) совокупного вклада 12 показателей, подразделяет регион на центральную зону (г. Киров, Кирово-Чепецкий и Слободской районы), две южные (Вятско-Полянский и Санчурский районы), где факторы хозяйственной деятельности обусловили высокий уровень воздействия на поверхностные воды и территорию остальных районов, с относительно более низким уровнем.

После элиминации двух факторов проведен компонентный анализ остальных 10 векторов кластера $q_7(X_n^a)$. На первую главную компоненту $G^{(1)}(X_n^a)$ приходится 75% дисперсии. При объемности вкладов собственных векторов в $G^{(1)}(X)$, она является представительной оценкой системы (X_n^a) .

При картографировании рельефа поля вектора $G^{(1)}(X_k)$ на первом уровне шкалы антропогенного воздействия на поверхностные воды находится центральная зона области (промышленная агломерация - г. Киров, Кирово-Чепецкий и Слободской районы), а также индустриальные Вятско-Полянский и Омутнинский районы (рис.4.3.). Качество модели ($N_s = 2$) и интерпретируемость $G^{(1)}(X_k)$ говорит, что данные параметры должны быть мониторами РГСЭМ - маркерами антропогенного воздействия на поверхностные воды.

4.1.3. Воздействие на ландшафтные комплексы

В гл. 3 был рассмотрен вопрос влияния эколого-хозяйственного состояния территории на индикаторный признак $G^{(1)}(X_n^L)$ - первую главную компоненту показателей ландшафтных комплексов региона $X_n^L \in \mathfrak{R}^{40}$ в модели $G^{(1)}(X_n^L) = \{a, q(X_n)\} + \varepsilon^{(2)}$. Коэффициент множественной корреляции модели $R_{yy} = 0,99$ позволяет шкалирование отклика при $N_s > 4$. Значимыми предикторами выступают - кластер $q_3(X_n)$ - лесопользование, с весом $P_1 = 42 \pm 8\%$, и при $R_{yy} = 0,98$ соответствующей субмодели, обеспечивающий влияние фактора в трех уровнях шкалы; $q_8(X_n)$, - сельскохозяйственная освоенность территории - вес $P_2 = 56 \pm 10\%$, и при $R_{yy} = 0,95$ допускающий две градации шкалы; $q_4(X_n)$ - промышленно-транспортная нагрузка, вес $P_3 = 3 \pm 1\%$ (рис.4.4).

Поскольку эколого-хозяйственное состояние региона, в оценке через главный фактор $G^{(1)}(X_n^L)$, определяется тройкой кластеров с установленными в репрезентативной модели вкладами, то векторы "информативных показателей", формирующие индикаторный признак $G^{(1)}(X_n^L)$ и предикторы модели $q(X_n)$ должны служить мониторами РГСЭМ. Обязательными объектами мониторинга становятся все исходные признаки: доля лесных площадей, земли населенных пунктов, объем рубок главного пользования, площадь сплошных вырубок в год, из них лесосырьевых баз, уровень лесозаготовки, доля земель, занятых промышленностью и транспортом, лесохозяйственными предприятиями, дорогами и постройками, общественными дворами, потребление воды в районе,

плотность промышленного потенциала и количество вносимых пестицидов, земли, занятые под сельскохозяйственное производство, степень распаханности территории, земли сельскохозяйственных предприятий в структуре земельного фонда по видам угодий, земли сельскохозяйственных угодий в структуре земельного фонда и интенсивность лесопользования в сельскохозяйственных угодьях. Кроме того, для расчетов комплексных оценок эколого-хозяйственного состояния области $X_n^L \in \mathbb{R}^{40}$ отслеживается доля пашен, лесистость территорий, площади земель с низкой и высокой нагрузкой, а также рассчитываются индексы антропогенной преобразованности ландшафтов, взвешенные по видам воздействий по методике С.И. Носова - Б.И. Кочурова.

4.2. Факторы воздействий на фитоценозы

Растительность играет решающую роль в структурно-функциональной и хронологической организации экосистемы, а также отражает экзогенный фактор Φ_e - как за счет прямых воздействий (выпас, рубки, техногенные воздействия), так и через изменение экотопа. Оценки (критерии) Φ_e учитывают негативные изменения как в структуре растительности (уменьшение площади коренных ассоциаций, лесистости), так и на уровне растительных сообществ и отдельных видов (популяций): изменение видового состава, ухудшение ассоциированности и возрастного спектра ценопопуляций доминантов.

4.2.1 Влияние факторов среды на природные ландшафты

Доминирование фитоценологических факторов в моделях описания численности фаунистических индикаторов ставит вопрос о сопряженности зональных (климатических) условий с биотопическими, и о вероятном "затушевывании" влияний на биоиндикаторы температурного режима, влажности и т.д. системой описания параметров фитоассоциаций. Для анализа структуры данных и выяснения взаимообусловленности 23-х геоботанических характеристик $X_n^{(c)}$ (доли среднетаежных, южнотаежных и подтаежных лесов, болотной растительности, пойменных лугов, вторичных мелколиственных лесов на месте коренных и земель сельского хозяйственного назначения на месте среднетаежных, южнотаежных, сосновых, южной тайги и подтаежных лесов) и 11 климатических признаков (см. главу 3) проведен кластерный анализ (центроидным методом). При рассечении дендрита связей на уровне значимости ($R > 0,4$) получено 8 некоррелированных кластеров и исходных признаков.

1. Кластер 13 этапа. Включает климатические параметры: высоту снегового покрова, количество осадков, продолжительность периода с $T < -10 \text{ C}^\circ$.

2. Климатический вектор - количество дней со снежным покровом.

3. Кластер 12 этапа. Его векторам соответствуют следующие ландшафты: среднетаежные леса: пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые, еловые зеленомошные кустарничковые, еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южно-таежные леса: еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые; березово-сосновые и березовые кустарничково-

осоково-сфагновые переходные, бореальные; пойменные луга таежной зоны разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов; сельскохозяйственные земли на месте среднетаежных лесов.

4. Кластер 16 этапа. Его векторам соответствуют следующие ландшафты: болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые, болота сфагновые кассандрово-морозовые грядово-мочажинные, верховые; пойменные луга таежной зоны злаково-разнотравные на высоком уровне, крупнозлаковые - на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов; вторичные мелколиственные леса, березовые, осиново-березовые и сероольховые на месте южнотаежных темнохвойных лесов; сельскохозяйственные земли на месте сосновых лесов южной тайги.

5. Вектор – сельскохозяйственные земли на месте южнотаежных лесов.

6. Кластер 19 этапа. Его векторам соответствуют следующие ландшафты: южнотаежные леса - еловые долгомошные и сфагновые кустарничковые и травяные (влажные); вторичные мелколиственные леса, березовые, осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов.

7. Кластер 18 этапа. Его параметрам соответствуют следующие ландшафты: средне- и южнотаежные леса, сосновые с березой долгомошные и сфагновые кустарничковые; пойменные луга таежной зоны – злаково-разнотравные луга на высоком уровне, крупнозлаковые – на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов.

8. Вектор – болота лесные березово-сосновые и березовые осоково-разнотравные низинные.

9. Кластер 17 этапа ("зонально-ценотический"). В его состав входит "климатический кластер" $q^{кл}(X_n^K)$, с показателями: эквивалентная температура июля, процент комфортной погоды, продолжительность периода с $T = (-5; -15 \text{ } ^\circ\text{C})$, продолжительность периода с $T = +15$, уровень теплообеспеченности ($+10 \text{ } ^\circ\text{C}$), скорость ветра в январе, количество дней с метелью. Кроме того, в него входят ландшафтные признаки: подтаежные леса пихтово-еловые, сложные (с липой, кленом, ильмом в подлеске) и широколиственно-еловые; вторичные мелколиственные леса, березовые, осиново-березовые и сероольховые на месте сосновых лесов; сельскохозяйственные земли на месте подтаежных лесов.

Отметим, что характеристики ассоциаций образуют 6 групп – четыре кластера геоботанических признаков и два "независимых" вектора, а климатические – один вектор и один кластер. На значимом уровне лишь в состав "зонально-ценотического" кластера 17 этапа одновременно входят климатические и ботанические признаки.

Проверка логистического характера зависимости "доза-эффект" для фитоценотических индикаторов $X_n^{(c)}$ от двух наиболее значимых антропогенных факторов - лесопользования $q_3(X_n^a)$ и $q_8(X_n^a)$ - сельскохозяйственного освоения территории показала, что из всех 23 геоботанических признаков $X_n^{(c)}$ лишь один $X_n^{(c)}_r$, описывающий пойменные луга разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов, имеет логистический характер изменения вдоль фактора $q_3(X_n^a)$ ($R=0,84$). В модели, с откликом в виде функции желательности Пена-Менчера от $X_n^{(c)}_r$ и с предикторами $\Phi [q_3(X_n)]$ – матрицей из полиномов четвертой степени от кластера $q_3(X_n)$: $\exp\{-[-2,5X^7]\} = \{\Phi [q_3(X_n)] a\} + \varepsilon$,

коэффициент множественной корреляции $R_{yy} = 0,90$, по γ^2 – критерию допускается две градации отклика.

Данный результат наглядно демонстрирует вероятную обусловленность параметров фитоассоциаций $X_n^{(2)}$ воздействием лесопользования в регионе на уровне двух градаций, причем географическая граница зон ($X_n^{(2)} = 0$) проходит с запада на восток региона примерно по широте г. Кирова.

4.2.2. Влияние факторов среды на запасы дикорастущих ягод

Рассмотрим биологические запасы дикорастущих ягод как индикаторный ведомственный показатель – монитор в моделях обусловленности его состояния факторами окружающей среды. Данные по запасам черники, брусники и клюквы в шестибальной шкале оценки $Y^{(6)}$ в разрезе районов взяты в ТерКСОП [65].

Для установления индикаторных свойств $Y^{(6)}$ на факторы X_n поэтапно строились численные модели "Факторы среды - реакция индикатора": $Y^{(6)} = \{X_n, a\} + \varepsilon^{(1)}$, где предикторами взяты наборы признаков $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$.

Все первые три субмодели вида (см. табл. 4.1): $Y^{(6)} = \{[q_i(X_n^a)]; a\} + \varepsilon^{(1)}$ не дают удовлетворительного решения задач регрессии (по γ^2 -критерию $N_s < 2$). Так в первой субмодели использовались предикторы кластеры параметров естественных процессов (климата, геологической среды, ландшафтов и фитоценозов): $q_1(X_n^a)$, $q_2(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$ и $q_6(X_n^a)$; а также кластеры показателей антропогенного воздействия: $q_3(X_n^a)$, $q_4(X_n^a)$, $q_7(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$. При невысоком качестве модели наибольший вклад в обилие ягод дают $q_3(X_n^a)$ – оценка лесопользования и $q_5(X_n^a)$ характеристика комфортности климатических условий. Во второй субмодели данные предикторы имеют веса: $q_3(X_n^a) - 38 \pm 4\%$, $q_5(X_n^a) - 18 \pm 4\%$. В третьей субмодели (воздействия климатических факторов) состояние ресурсов ягод $Y^{(6)}$ от набора 11 климатических показателей $X^K \in \mathfrak{R}^{40}$ (по данным ТерКСОП [65]): $Y^{(6)} = \{X^K; a\} + \varepsilon^{(3)}$, $R_{yy} = 0,73$; $N_s < 2$ из которых лишь один значим ($t > 2$ по критерию Стьюдента) – уровень теплообеспеченности. Данный климатический параметр имеет вклад $58 \pm 27\%$ в дисперсию отклика $Y^{(6)}$. Однако низкое качество модели ($N_s < 2$) говорит, что климатические факторы далеко не полностью определяют состояние биологического ресурса.

В модели: $Y^{(6)} = \{X_n^{(2)}, a\} + \varepsilon^{(4)}$ в качестве предикторов использованы 23 геоботанических признака $X_n^{(2)}$. Качество модели ($R_{yy} = 0,95$) позволяет шкалирование отклика по γ^2 -критерию на два уровня.

Таблица 4.1

Моделирование ресурсов дикорастущих ягод факторами среды

№	Предикторы моделей $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{yy}	N_s	F	Оценка
1	8 кластеров $q_1(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,77	1	1,9	"плохо"
2	Кластеры $q_3(X_n^a)$ и $q_5(X_n^a)$.	0,74	1	2,1	"плохо"
3	11 климатических признаков (X_n^K)	0,73	1	1,9	"плохо"
4	23 ценотических признака $X_n^{(2)}$	0,951	2	4,3	"удовл"
5	$T(X_n^{(2)}) + q_3(X_n^a) + q_5(X_n^a)$	0,952	2	10,1	"удовл."

В четвертую модель входят предикторы $q_5(X_n^a)$, $q_3(X_n^a)$ и тренд-вектор четвертой моделью ($T(X_n^{(2)}) = Y^{(6)} - \varepsilon^{(4)}$). Вклад в дисперсию отклика составляет: $T(X_n^{(2)}) - 87 \pm 2\%$; при коэффициенте регрессии $a = 0,91$ ($t=11,8$), а совместный вес $q_3(X_n^a)$ и $q_5(X_n^a)$ - $4 \pm 2\%$, при незначимом по Стьюденту коэффициенте регрессии $a = 0,05$.

Данный результат говорит об определяющем вкладе ценотических факторов $X_n^{(2)}$ - сложившихся балансов природных систем на состояние биологических запасов дикорастущих ягод. Показатель $Y^{(6)}$, отслеживаемый ведомственной службой, является индикаторным - признаком, контролирующим состояние геоботанических характеристик региона, подлежащим включению в информационный ресурс сети РГСЭМ.

4.2.3. Влияние факторов среды на биологические ресурсы грибов

Другим важным монитором РГСЭМ может являться оценка биологических запасов грибов. Рассмотрим данный индикаторный показатель $Y^{(7)}$ в моделях обусловленности его состояния факторами окружающей среды. Данные по запасам грибов в 3-х балльной шкале взяты в ТерКСОП [65] в разрезе районов. Для верификации $Y^{(7)}$ как индикатора факторов среды $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$ поэтапно строились численные модели "Факторы среды - реакция индикатора":

$$Y^{(6)} = \{X_n, a\} + \varepsilon^{(1)}.$$

Первые три субмодели (см. табл. 4.2): $Y^{(7)} = \{[q_i(X_n^a)]; a\} + \varepsilon^{(1)}$ не дают удовлетворительного решения задач регрессии (по γ^2 -критерию $N_s < 2$). В первой модели использовались предикторы $q_1(X_n^a)$, $q_2(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$ и $q_6(X_n^a)$; $q_3(X_n^a)$, $q_4(X_n^a)$, $q_7(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$. После элиминации незначимых предикторов в модели 2 наибольший вклад в обилие грибов дает $q_3(X_n^a)$ - как маркер лесопользования (коэффициент регрессии 0,73, вклад в дисперсию $59 \pm 2\%$) и $q_2(X_n^a)$, отражающий градиент холодных зимних дней вдоль широты местности (коэффициент регрессии 0,20, вклад в дисперсию отклика - $9 \pm 2\%$).

В модели воздействия климатических факторов на ресурсы грибов $Y^{(7)}$ (11 климатических показателей $X^K \in \mathfrak{R}^{40}$ по данным ТерКСОП [65]):

$Y^{(7)} = \{X^K; a\} + \varepsilon^{(3)}$, $R_{yy} = 0,79$; $N_s < 2$ из которых лишь один значим ($t > 3$ по критерию Стьюдента) - количество дней с температурой от -5 до -15 °C.

В модели: $Y^{(7)} = \{X_n^{(2)}, a\} + \varepsilon^{(4)}$ в качестве предикторов использованы 23 геоботанических признака $X_n^{(2)}$. Качество модели ($R_{yy} = 0,948$) позволяет шкалирование отклика по γ^2 -критерию на два уровня.

Таблица 4.2

Моделирование ресурсов дикорастущих ягод факторами среды

№	Предикторы моделей $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{yy}	N_s	F	Оценка
1	8 кластеров $q_1(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,849	1	2,9	"плохо"
2	Кластеры $q_3(X_n^a)$ и $q_2(X_n^a)$.	0,83	1	3,0	"плохо"
3	11 климатических признаков (X^K_n)	0,79	1	1,9	"плохо"
4	23 ценотических признака $X_n^{(2)}$	0,948	2	4,0	"удовл"
5	$T(X_n^{(2)}) + T\{q_3(X_n^a), q_2(X_n^a)\} + T(X_n^{(K)})$	0,949	2	9,3	"удовл."

В четвертую модель входят предикторы $q_5(X_n^a)$, $q_2(X_n^a)$ и тренд-векторы второй $T\{q_3(X_n^a), q_2(X_n^a)\}$, третьей ($T(X_n^{(k)}) = Y^{(T)} - \varepsilon^{(3)}$) и четвертой моделей ($T(X_n^{(e)}) = Y^{(T)} - \varepsilon^{(4)}$). Вклад в дисперсию отклика составляет для экосистемных характеристик $T(X_n^{(e)}) - 81 \pm 3\%$; при коэффициенте регрессии $a = 0,85$ ($t = 7,9$). Коэффициенты регрессии остальных двух факторов незначимы по Стьюденту (на уровне 0,05).

Таким образом, оценка биологических запасов грибов определяется вкладом ценотических факторов $X_n^{(e)}$. Показатель $Y_k^{(6)}$, является индикаторным признаком, контролирующим состояние геоботанических характеристик региона, подлежащим включению в информационный ресурс сети РГСЭМ.

4.2.4. Влияние факторов среды на растительные ресурсы

Показатели ведомств, могущие служить мониторами РГСЭМ можно установить в моделях обусловленности состояния растительности (через ресурсную ботаническую оценку) влиянием факторов окружающей среды.

Первичные данные о трансформации растительного покрова в Кировской области взяты из работы [6] (показатели $Y_k^{(6)}$ - доля общей площади коренной растительности, вторичных мелколиственных лесов и сельскохозяйственных земель). Комплексная оценка показателей - главный фактор $G^{(1)}(Y_k^{(6)}) \in \mathfrak{R}^{24}$ (78% дисперсии $Y_k^{(6)}$), отражает долевые вклады коренной растительности (компонентная нагрузка $g = 0,52$), вторичных мелколиственных лесов ($g = 0,55$) и сельскохозяйственных земель ($g = - 0,65$). На первом этапе рассмотрены линейные модели, где регрессоры Q^II (см. выше) представляют векторы шести показателей природных процессов X_k и четырех кластеров: $q_1(X_n)$, $q_2(X_n)$, $q_5(X_n)$, $q_6(X_n)$, а также Q^A - векторы признаков антропогенных воздействий и их кластеры $q(X_n^a) \in \mathfrak{R}^{40}$.

$$a) \text{ модель } G^{(1)}(Y_k^{(6)}) = \{Q^{II}, a^{(III)}\} + \varepsilon^{(1)},$$

критерий Фишера $F=2,0$ ($n=18/8$) делает модель значимой. При $R_{yy} = 0,88 < 0,9$, по γ^2 -критерию [52] нет градаций отклика Y_j . Все факторы Q^{II} не достоверны, вследствие остаточных корреляций (критерий Стьюдента с $t < 2$).

На следующем этапе в полиномиальной модели:

$$G^{(1)}(Y_k^{(6)}) = \{\Phi^{II}(Q^{II}), a^{(II2)}\} + \varepsilon^{(2)},$$

получен тренд-вектор $T^{II} = G^{(1)}(Y_k^{(6)}) - \varepsilon^{(2)}$, включенный в модель последнего уровня.

б) аналогично и для линейной модели антропогенных воздействий:

$$G^{(1)}(Y_k^{(6)}) = \{Q^A, a^{(A1)}\} + \varepsilon^{(3)},$$

где критерий Фишера $F=2,9$, при $n=18/6$ - модель значима, $R_{yy} = 0,94$, что по γ^2 -критерию ($0,9 < R_{yy} < 0,96$) допускает две градации шкалы, при 88% объяснимости $G^{(1)}(Y_k^{(6)})$ факторами. Влияние отдельных Q^A не достоверно ($t < 2$).

На следующем этапе в полиномиальной модели:

$$G^{(1)}(Y_k^{(6)}) = \{\Phi^A(Q^A), a^{(A2)}\} + \varepsilon^{(4)},$$

получен тренд-вектор $T^A = G^{(1)}(Y_k^{(6)}) - \varepsilon^{(4)}$ - регрессор модели последнего уровня:

$G^{(1)}(Y_k^{(6)}) = \alpha_1 T^{II} + \alpha_2 T^A + \varepsilon^{(5)}$, для которой $F=8,2$, ($n=13/16$). Модель значима, $R_{yy} = 0,94$, и по γ^2 -критерию допускает две градации $G^{(1)}(Y_k^{(6)})$. Вес

природного фактора $17 \pm 7\%$; $\alpha_1 = 0,19$ (при незначимой величине критерия Стьюдента с $t = 1,0$). Вес фактора хозяйственной деятельности $72 \pm 29\%$; $\alpha_2 = 0,77$ (при $t = 4,0$).

Итак, модели влияния факторов среды на ее ресурсный ботанический балл выявляют значимую интегральную оценку $G^{(1)}(Y_k^{(6)})$, формируемую по данным сетей ведомств $Y_k^{(6)}$. Таким образом, обе системы показателей X_n и $Y_k^{(6)}$ должны входить в сетевой информационный ресурс РГСЭМ.

4.3. Орнитологические маркеры факторов окружающей среды

В природных условиях на популяции действует комплекс антропогенных и природных факторов, поэтому изменения популяций необходимо рассматривать как ответ на комплексное воздействие. Видовая структура орнитофауны специфична для различных условий, и изменения группировок и численности видов индицируют изменения среды. Так в работе [88] подчеркнута, что в пределах лесного массива обилие и разнообразие птиц напрямую зависит от характера растительности во всех ярусах фитоценоза.

Главная географическая особенность Кировской области, отмеченная в работе [169] – схождение в ней европейской и сибирской типов орнитофаун. Виды первой из них тяготеют к светлым лиственным и смешанным лесам, сибирские же виды птиц заселяют темнохвойные леса. По центральной части области проходит северная граница ареалов целого ряда видов – большой выпи, красноголового нырка, камышницы, лысухи, белоспинного дятла, лесного жаворонка и др. Подмеченная закономерность – соответствие пространственной дифференциации двух типов орнитофауны таксонам коренных ассоциаций растительности носит для задач РГСЭМ принципиальный характер.

Проведенные типизации Кировской области показали, что основные субтерриториальные экологические единицы региона географически близки зонам биогеографического районирования и делят регион на южную и северную зоны. Поэтому необходим анализ географической сопряженности ареалов видов, территорий соответствующих им биотопов и зон антропогенного прессинга, для определения перспективности орнитоиндикаторов, как группы позвоночных, контролирующих через свое биоразнообразие природные условия и воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду. Общие требования к орнитоиндикаторам – способность к накоплению токсикантов, многочисленность, широта ареала и доступность получения биологического материала [179].

В Кировской области регистрируется (на 1997г.) 281 вид птиц [169]. Из них оседло-гнездящихся 46 видов, перелетно-гнездящихся - 147, пролетных – 36, зимующих – 9, залетных – 43. Для анализа применимости показателей в индикаторном аспекте использован список видов орнитофауны Кировской области (106 видов птиц на гнездовании в 5-балльной шкале встречаемости по 18 ландшафтным районам региона), приведенный в работе [6].

4.3.1. Комплексные оценки встречаемости редких птиц

Считается, что оценка экологического состояния территорий по плотности популяций редких видов более надежна [6]. Однако на оценках вида "очень редкий" и "редкий", трудно организовать количественный мониторинг. Для увеличения достоверности диагностики необходим "комплексный биомонитор" - не один раритетный вид, а их совокупность – кластер видов орнитофауны.

Данные для анализа взяты из работы [6] по 70 редким и очень редким видам птиц (оценки встречаемости X_{ij} не превышали 2 баллов). На первом этапе оценки сходства состава орнитофауны устанавливаются 17 близких групп ($R = 0,71- 0,90$), включающих не менее четырех видов птиц, но ряд районов не отслеживается ни одним из X_{ij} , говоря об отсутствии в регионе "универсального" маркера, построенного на верхних ветвях дендрита редких видов орнитофауны. На втором этапе проведена оценка сходства (метрика Махаланобиса) ландшафтных районов по четырем "емким" кластерам населения редких видов орнитофауны. Дендроид территорий, состоит из двух стволов, включающих два куста (с 10 и 5 районами) и три отдельные ветви. Первый куст (центр области), со встречаемостью в 4-х кластерах орнитофауны в среднем составляющей 1,2; 0,14; 0,37 и 1,1 баллов оценок, второй кластер - ее северные, западные и южные территории (1,1; 0,08; 0,10 и 0,94), а ветви - окраины северо- и юго-востока.

Низкие значения комплексных оценок говорят об отсутствии для всей территории Кировской области универсального "комплексного монитора", построенного на верхних ветвях дендроида связей редких видов орнитофауны.

4.3.2. Модели численности скворца как вида-индикатора

В ряде стран – Италии, Канаде, Нидерландах, США, Финляндии и Норвегии, численность скворца $Y^{(c)}$, как вида, находящегося, практически, на конце трофической цепочки, является распространенным индикатором загрязнения наземных экосистем, особенно пестицидами и ПХБ. Картографирование $Y^{(c)}$ по данным работы [6] для Кировской области отображает сопряженность ареала вида зоне листопадных лесов биогеографического районирования, говоря об ассоциациях флоры, как доминирующем факторе определяющем численность.

Для установления индикаторных свойств $Y^{(c)}$ и их верификации на экзогенные факторы X_n поэтапно строились численные модели вида "Факторы среды - реакция индикатора": $Y^{(c)} = \{X_n, a\} + \varepsilon^{(1)}$. В качестве отклика $Y^{(c)}$ выбрана численность скворца, а в качестве предикторов - наборы признаков X_n . (см. табл. 4.3). Все данные предварительно конвертировались в типологию административных районов $(X_n, Y^{(c)}) \in \mathfrak{R}^{40}$.

В 1-й модели: $Y^{(c)} = \{[q_i(X_n^a)]; a\} + \varepsilon^{(1)}$ использовались предикторы - кластеры параметров естественных процессов (климата, геологической среды, ландшафтов и фитоценозов): $q_1(X_n^n)$, $q_2(X_n^n)$, $q_5(X_n^n)$ и $q_6(X_n^n)$; а также кластеры показателей антропогенного воздействия: $q_3(X_n^a)$, $q_4(X_n^a)$, $q_7(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$. При общем низком качестве модели наибольший вклад в обилие скворца дают

$q_3(X_n^a)$ - оценка лесопользования (доля площадей, коренная растительность, на которых, определялась темнохвойными лесами) и $q_8(X_n^a)$ - оценка сельскохозяйственного освоения территории (зона листопадных лесов), причем $q_8(X_n^a)$ – единственный регрессор со значимым коэффициентом (число $t=2,2$ по критерию Стьюдента).

Во второй модели: $Y^{(c)} = \{X_n^{(e)}, a\} + \varepsilon^{(2)}$ в качестве предикторов использованы 23 геоботанических признака $X_n^{(e)}$. Качество модели позволяет шкалирование отклика по χ^2 -критерию на два уровня.

Таблица 4.3

Этапы моделирования численности скворца факторами среды

№	Предикторы моделей $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{ji}	N_s	F	Оценка
1	Q_{q8} – 8 кластеров $q_1(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,872	1	3,3	"плохо"
2	Q_{23} – 23 ценотических признака $X_n^{(e)}$	0,918	2	2,6	"удовл"
3	Q_{11} – 11 климатических признаков (X_n^K)	0,817	1	2,2	"плохо"
4	$Q_{3c} - T(X_n^{(e)}) + q_3(X_n^a) + q_8(X_n^a) + T(X_n^K)$	0,932	2	6,8	"удовл."

В третьей модели проанализировано воздействие климатических факторов на численность вида $Y^{(c)}$. В линейной модели зависимости $Y^{(c)}$ от набора 11 климатических показателей $X^K \in \mathfrak{R}^{40}$ (по данным ТерКСОП [65]):

$Y^{(c)} = \{X^K; a\} + \varepsilon^{(5)}$, $R_{ji}=0,8$; $N_s < 2$ из которых лишь три значимы ($t > 2$ по критерию Стьюдента) – продолжительность периода с температурой ниже -10 $^{\circ}\text{C}$, периода с температурой выше $+15$ $^{\circ}\text{C}$, а также скорость ветра в январе. Отметим, что значимость данных признаков X^K подтверждает правило "лимитирующего значения крайних летних и зимних температур на границы ареала" А.Н. Голикова – О.А. Скарлато [89]. Однако низкое качество модели ($N_s < 2$) говорит, что широтный зональный фактор не является определяющим в формировании численности индикаторного вида.

В четвертую модель входят предикторы $q_8(X_n^a)$, $q_3(X_n^a)$ и тренд-векторы второй ($T(X_n^{(e)}) = Y^{(c)} - \varepsilon^{(2)}$), и третьей моделей ($T(X_n^{(K)}) = Y^{(c)} - \varepsilon^{(3)}$):

$Y^{(c)} = \{T(X_n^{(e)}), q_3(X_n^a), q_8(X_n^a), T(X_n^K); a\} + \varepsilon^{(4)}$. Вклад в дисперсию отклика составляет: $T(X_n^{(e)}) - 61 \pm 15\%$; $q_3(X_n^a)$ и $q_8(X_n^a)$ – с совместным вкладом 11%, $T(X_n^K)$ - $15 \pm 4\%$. В целом, подобный результат говорит о доминирующем вкладе ценотических факторов $X_n^{(e)}$.

Отметим S-образный характер численности скворца вдоль градиента фактора $T(X_n^{(об)}) = Y^{(c)} - \varepsilon^{(4)}$, удовлетворительно аппроксимируемый моделью Ферхюльста: $Y^{(c)} = [1 - \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot T(X_n^{(e)}))]^{-1}$. Логистический вид (см. рис.4.5) численности скворца $Y^{(c)}$ в регионе вдоль градиента обобщенного фактора $T(X_n^{(об)})$ индицирует сложившиеся балансы в природных системах – "организм-среда" и определяет соответствующие географические зоны (рис. 4.6):

– зона I (равновесие). Численность вида $Y^{(c)}$ минимальна ($-2,5$). Зона занимает три северо-восточных района Кировской области;

– зона II (равновесие). Численность вида $Y^{(c)}$ достигает максимума (0,5-0,75). В нее входят 25 центральных и южных районов региона.

– зона III (переходная зона), соответствует области логистического роста численности вида $Y^{(c)}$ вдоль градиента фактора $T(X_n^{(c)})$. Зона занимает северные и западные районы Кировской области (с Немско-Кильмезским анклавом);

Логистический характер численности индикатора при экосистемных изменениях удовлетворительно описывается векторами $X_n^{(c)}$, претерпевающими скачок, в отличие от вкладов климатических $X_n^{(K)}$ - температур, влажности и т.д. Это указывает на наличие двух (трех, с переходной) типов биогеоценозов – сред обитания скворца в регионе. Отметим, что и другие показатели (табл. 2.2, гл. 2) достоверно претерпевают скачок при переходе от одной биогеографической зоны к другой - устойчивость геологической среды, покрытая лесом (хвойные средневозрастные) площадь, - древесно-кустарниковые насаждения (и прочие земли) в структуре земельного фонда и число дней со снежным покровом.

Таким образом, модели вида "отклик - реакция индикатора" позволили определить региональные особенности численности скворца как индикатора для конкретного региона, обозначив определяющие ее факторы среды.

4.3.3. Модели встречаемости переменных видов птиц

Коэффициенты вариации K_v оценок плотности популяций видов авиафауны (в том числе и с далекими от нормальной функциями распределения) в регионе изменяются от 0,32 (соловей, грач, зук малый) до 1,53 (кулик-сорока). Поскольку их переменность должны определять средовые факторы, то это требует обоснования в индикаторном и ареологическом аспектах.

Из 106 видов птиц отобрано 39 "критичных к условиям среды обитания" с наибольшими коэффициентами вариации численности. На 1 этапе найдены два кластера, включающие 17 и 16 видов птиц, образовавшиеся на последних значимых (уровень 0,05) шагах таксономии. Как "независимые переменные виды" X_n в классификации предстают: сизая чайка, канюк обыкновенный, большой подорлик, перепелятник, черный коршун, болотная камышевка.

Второй этап таксономии (классификация по кластерам видов) дает на (v-1) шаге два кластера территорий: первый кластер (северная часть области и Кильмезский район), второй - центральная и южная части области. Классификация по кластерам видов территориально совпадает с биогеографическим районированием растительных ассоциаций - средой обитания птиц (рис.3.4).

Ниже рассмотрены реакции интегральных оценок - кластеров $q_1^{op}(X_n)$ и $q_1^{op}(X_n)$ на внешние факторы в численных моделях. Необходимость в таких системно связанных интегральных оценках очевидна – суммарность оценки нивелирует, во-первых, территориальную вариативность границ ареалов отдельных видов, а во-вторых, и возможную погрешность учета, приходящуюся на годы депрессию численности видов.

4.3.3.1. Оценка 17 переменных видов орнитофауны

Первый кластер $q_1^{op}(X_n)$ объединяет векторы X_n численности птиц следующих 17-и видов: чиж, снегирь, тетерев, кукушка, желтоголовый королек, хохлатая синица, трехпалый дятел, рябчик, кукушка глухая, длиннохвостая не-

ясыть, глухарь, лесная завирушка, мохноногий сыч, гоголь, шилохвость, овсянка-ремез, чеглок. В качестве предикторов моделей $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$ взяты разные наборы признаков (см. табл. 4.4). Все регрессионные модели использовались линейные:

$$q_i^{op}(X_n) = \{P_n, a\} + \varepsilon^{(n)}.$$

Таблица 4.4

Этапы моделирования $q_i^{op}(X_n)$ как отклика на факторы среды

№	Предикторы численных моделей $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{ji}	N_s	Оценка
1	Q_{q8} – 8 кластеров $q_i(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,902	2	"удовл"
2	Q_{23} – 23 ценотических признака $X_n^{(e)}$	0,92	2	"удовл."
3	Q_{6z} – 6 кластеров $q_i(X_n^{(z)})$	0,71	1	"плохо"
4	$Q_{z,k}$ – $T(X_n^{(z)})$ + 11 климатических признаков (X_n^K)	0,93	2	"удовл"
5	Q_{zq1} – $T(X_n^{(z)}) + q_3(X_n^a) + q_8(X_n^a) + q_1(X_n^a) + q_5(X_n^a)$	0,937	2	"удовл."

Результаты и выводы.

1. Наиболее существенными факторами (модели 1 и 2), определяющими численность данных 17 видов орнитофауны, "критичных к условиям среды обитания" являются геоботанические условия среды в пределах региона - признаки $X_n^{(e)}$ ($N_s = 2$) и антропогенные факторы - $q_3(X_n^a)$ и $q_8(X_n^a)$ ($N_s = 2$).

2. Использование кластеров (факторных центроидов) ценотических признаков как предикторов ухудшило задачу регрессии ($R_{ji} = 0.71$), но позволило выделить ландшафты, со значимыми вкладами в численность данных 17 видов, "критичных к условиям среды обитания" (модель 3). Единственный значимый (по критерию Стьюдента, $t = 2,5$) регрессор – кластер 17 этапа объединения представляет следующие ландшафты: среднетаежные леса: пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые, еловые зеленомошные кустарничковые, еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южнотаежные леса - еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые; широколиственно-сосновые подтаежные леса; пойменные луга разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов; вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов (вклад в дисперсию отклика $q_i^{op}(X_n)$. – $39 \pm 4\%$).

3. Включение климатических показателей в P_n (модель 4) не привело к принципиальному (в смысле критерия N_s) улучшению регрессии ($R_{ji} = 0.93$), но произошло перераспределение долей объясняемой дисперсии. В пределах региона на геоботанические характеристики приходится 74% дисперсии отклика, а на климатические - 14% - на "климатический кластер" $q^{kl}(X_n^K)$, (объединение по близости элементов корреляционной матрицы, при $R_j = 0.99 - 0.84$ на первых шести этапах). Кластер $q^{kl}(X_n^K)$ включает показатели: эквивалентную температуру июля, процент комфортной погоды, продолжительность периода с $t = (-5 \text{ до } -15^\circ)$, продолжительность периода с $t > +15^\circ$, уровень теплообеспеченности ($+10^\circ$), скорость ветра в январе, количество дней с метелью.

4. Наиболее существенными факторами (модель 5, предикторы геоботанические условия $T(X_n^{(e)})$ и кластеры $q_3(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$, $q_1(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$, определяющими численность 17 видов, "критичных к условиям среды обитания" являются геоботанические условия среды – вклад $56 \pm 19\%$, достоверный по критерию Стьюдента при $t = 4,6$. На втором месте антропогенный фактор $q_8(X_n^a)$, со вкладом $41 \pm 18\%$ ($t = 2,2$), отображающий сельскохозяйственное производство - земли, занятые под него, степень распаханности территории, земли сельскохозяйственных предприятий в структуре земельного фонда по видам угодий, земли сельскохозяйственных угодий в структуре земельного фонда и интенсивность лесопользования в сельскохозяйственных угодьях. Вклады факторов $q_3(X_n^a)$, $q_1(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$ из-за их остаточных корреляций не выделены (на уровне 0,05).

Таким образом, варибельность численности 17 видов орнитофауны в пределах Кировской области приблизительно в равных долях определяется двумя факторами - характером растительности в различных ценоотических ярусах и экологическим прессингом со стороны сельского хозяйства в регионе.

4.3.3.2. Оценка 16 переменных видов орнитофауны

Второй кластер $q_2^{op}(X_n)$ включает следующие виды: кулик-сорока, щегол, коноплянка, лунь полевой, черный стриж, каменка, погоньш, зеленая пересмешка, городская ласточка, пустельга обыкновенная, мородунка, трескунок, коростель, соловей, грач, зук малый. Все регрессионные модели взяты линейные:

$q_2^{op}(X_n) = \{P_n, a\} + \varepsilon^{(n)}$. В качестве предикторов $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$ взяты разные наборы признаков (см. табл.4.5)

Таблица 4.5

Этапы моделирования $q_1^{op}(X_n)$ как отклика на факторы среды

№	Предикторы численных моделей $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{ji}	N_s	Оценка
1	Q_{23} – 23 ценоотических признака $X_n^{(e)}$	0,929	2	"удовл."
2	Q_{6e} – 6 кластеров $q_i(X_n^{(e)})$	0,69	1	"плохо"
3	Q_{q8} – 8 кластеров $q_1(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,83	1	"плохо"
4	$Q_{z,k2}$ – $T(X_n^{(e)}) + 5$ признаков X_n^k и кластер $q^{kl}(X_n^k)$	0,931	2	"удовл"
5	$Q_{z,q}$ – $T(X_n^{(e)}) + q_3(X_n^a) + q_8(X_n^a) + q_6(X_n^a) + q_5(X_n^a)$	0,938	2	"удовл."
6	Q_{zq2} – $T(X_n^{(e)}) + T(q_n(X_n^a))$	0,938	2	"удовл."

Результаты и выводы.

1. Наиболее существенным фактором (модель 1), определяющим численность данных 16 видов орнитофауны, "критичных к условиям среды обитания" являются геоботанические условия среды - признаки $X_n^{(e)}$ ($N_s = 2$).

2. Регрессия ценоотических признаков $X_n^{(e)}$ на отклик $q_2^{op}(X_n)$, позволяет определить типы ландшафтов, со значимыми вкладами порядка $38 \pm 5\%$ в численность данных 16 видов, "критичных к среде обитания" (модель 2). Единственный значимый (по критерию Стьюдента, $t = 2,2$) регрессор – кластер 17 этапа объединения ландшафтов: среднетаежные леса: пихтово-еловые

зеленомошные кустарничковые, еловые зеленомошные кустарничковые, еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южнотаежные леса - еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые; широколиственно-сосновые подтаежные леса; пойменные луга разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов; вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов (вклад в дисперсию отклика $q_1^{op}(X_n)$. – $39 \pm 4\%$).

3. Из факторов антропогенного воздействия (модель 3) наиболее существенным является $q_8(X_n^a)$, с относительным вкладом $83 \pm 25\%$ ($t = 2,0$), отображающий роль сельскохозяйственного производства. Относительные вклады факторов $q_3(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$, $q_6(X_n^a)$ не выделяемы (на уровне 0,05).

4. Включение показателей климата в P_n (модель 4) не привело к принципиальному улучшению регрессии ($R_{ji} = 0.93$). На геоботанические характеристики приходится 85% дисперсии отклика, а климатические признаки незначимы по критерию Стьюдента.

5. На фоне наиболее существенного фактора, определяющего численность 16 видов - геоботанических условий $T(X_n^{(c)})$ (модель 5), вбирающих 74 % дисперсии отклика, коэффициент регрессии ни одного из кластеров $q_3(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$, $q_6(X_n^a)$, $q_5(X_n^a)$ в отдельности не значим по критерию Стьюдента ($t < 2$). Т.о. нельзя выделить группу экзогенных условий, однозначно, наряду с растительностью определяющих численность данных видов в регионе.

6. При включении в число предикторов (модель 6) $T(q_n(X_n^a))$ - тренд вектора субмодели $T(q_n(X_n^a)) = q_2^{op}(X_n) - \varepsilon^{(n)}$, где регрессорами выступали $q_3(X_n^a) + q_8(X_n^a) + q_7(X_n^a)$, удается значимо разделить природные и антропогенные факторы, определяющие определяющего численность 16 видов птиц (модель 6). Здесь $T(q_n(X_n^a))$ – интегральная оценка воздействия, включающая:

- лесопользование (долю лесных площадей, земли населенных пунктов, объемы рубок главного пользования, площади сплошных вырубок в год, из них лесосырьевых баз, уровень лесозаготовки);

- сельскохозяйственное освоение территории (земли, занятые под сельскохозяйственное производство, степень распаханности территории, земли сельскохозяйственных предприятий в структуре земельного фонда по видам угодий, земли сельскохозяйственных угодий в структуре земельного фонда и интенсивность лесопользования в сельскохозяйственных угодьях);

- воздействие за счет хозяйственной деятельности (комплексные оценки уровней антропогенного воздействия и на поверхностные воды, промышленного производства, транспорта и заселенности территории, оценки гигиенического состояния среды, населенческий индекс урбанизации, количество твердых, жидких и газообразных отходов, выбросы SO_2 , NO_x , CO и количество вносимых минеральных удобрений). Число t критерия Стьюдента для коэффициентов регрессии делает модель значимой (см табл. 4.6).

Таблица 4.6

Факторы, определяющие численность 16 видов орнитофауны

Параметр фактора	Факторы воздействия (на птиц 16 видов)	
	"Фитоценотический"	Антропогенный
Коэффициент регрессии	0,77±0,14	0,21±0,04
Число <i>t</i> критерия Стьюдента	8,7	2,3
Доля фактора в отклике	0,72±0,14	0,16±0,04

Таким образом, для данной группы видов численность в Кировской области определяется на 70% характером растительности, а остальная дисперсия приходится поровну - на учтенный антропогенный фактор (сельхозпроизводство, лесопользование и урбанизация) и на неучтенные факторы.

Можно отметить, что плотность популяций варьируемых видов орнитофауны является маркером, индицирующим условия среды, обусловившие ареалогическую зональность фитоценозов области, а за нею и орнитофауну.

4.3.3.3. Орнитологические индикаторы фитоценозов

На основании предыдущих результатов численного моделирования плотности популяций орнитофауны ценотическими условиями среды можно сделать оценку вектора некоторых усредненных по влиянию на индикаторы геоботанических условий, с последующей экстраполяцией на другие виды. Рассмотрим тренд-векторы трех предыдущих субмоделей:

$T_k(X_n^{(2)}) = Y^{(k)} - \varepsilon^{(k)}$, где в качестве отклика $Y^{(k)}$ взяты векторы численности скворца, $q_1^{op}(X_n) - 17$ видов птиц и $q_2^{op}(X_n) - 16$ видов.

Таблица 4.7

Значения фактора влияния биотопов на численность орнитофауны по ландшафтным районам региона

Районы	$G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$	Районы	$G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$
Камский	-3,1	Какша-Сюзюмский	-0,5
Верхне-Вятский	-2,8	Кильмезский	-0,2
Верхне-Кобринский	-2,3	Нижне-Моломский	0,1
Пушминский	-2,0	Чепецкий	0,7
Лузский	-2,0	Вятский	0,9
Моломский	-1,7	Кокшагский	0,9
Нижне-Кобринский	-1,4	Ярано-Немдинский	1,0
Великореченский	-1,1	Пойменный	1,6
Ветлужский	-0,6	Малмыжский	1,7

Первая главная компонента данных векторов $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ вбирает 83% их совокупной дисперсии и в силу равномерных вкладов в нее исходных

$T_k(X_n^{(2)})$, может служить маркером – обобщенным фактором, характеризующего влияние биотопов на численность орнитофауны в пределах региона.

Расчетные значения фактора $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ по ландшафтными районам Кировской области приведены в табл. 4.7.

Согласно табл. 4.7 хорошо заметен широтный градиент: наименьшие значения фактора $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ отмечаются на северо – востоке региона, наибольшие – на юго-востоке. Анализ коэффициентов корреляций ρ между векторами встречаемости птиц в регионе и фактором $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ показывает, что список видов на весьма высоком уровне значимости 0,001 по критерию $|\rho| > 0,71$ можно разбить на три группы.

Таблица 4.8

Виды орнитофауны – вероятные индикаторы состояния фитоценозов

Группа видов 2 ($\rho > + 0,7$)	ρ	Группа видов 3 ($\rho < -0,7$)	ρ
Снегирь	-0,9	Полевой воробей	0,92
Лесная завирушка	-0,89	Кукша	0,89
Большой улит	-0,87	Сойка	0,87
Шилохвость	-0,87	Зеленая пересмешка	0,87
Кукушка обыкновенная	-0,86	Коноплянка	0,85
Садовая камышевка	-0,85	Скворец	0,84
Клест-еловик	-0,85	Большая синица	0,83
Гоголь	-0,85	Сизый голубь	0,81
Овсянка-ремез	-0,83	Болотная сова	0,8
Мохноногий сыч	-0,82	Соловей	0,79
Белобровик	-0,82	Трескунок	0,78
Рябчик	-0,82	Щегол	0,77
Теньковка	-0,8	Пустельга обыкновенная	0,74
Длиннохвостая неясыть	-0,8	Полевой жаворонок	0,74
Черноголовая славка	-0,78	Каменка	0,73
Чиж	-0,78		
Свистун	-0,76		
Глухарь	-0,76		
Зеленая пеночка	-0,75		
Трехпалый дятел	-0,74		
Московка	-0,74		
Желтоголовый королек	-0,72		
Хохлатая синица	-0,71		
Пухляк	-0,71		

В первую группу входят виды, с коэффициентом детерминации ρ^2 по фактору $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ менее 50%: кряква, ястреб перепелятник, канюк обыкновенный, погониш, зук малый, черныш, фифи, перевозчик, мородунка, бекас, дупель, кулик-сорока, сизая чайка, озерная чайка, речная крачка, обыкновенный козодой, малый пестрый дятел, вертишейка, деревенская ласточка, городская ласточка, сорока, ополовник, рябинник, горихвостка, варакушка, речной сверчок, болотная камышевка, барсучок, садовая славка,

серая мухоловка, белая трясогузка, сорокопут-жулан, овсянка, дубровник, камышовая овсянка, кукушка глухая, мухоловка-пеструшка, тетерев, желна, обыкновенная неясыть, большой подорлик, чеглок, серая славка, большой пестрый дятел, черный коршун, чибис, вальдшнеп, домовый воробей, коростель, желтая трясогузка, лунь полевой, луговой чекан, ушастая сова, черный стриж, береговушка, ворона, иволга, галка, грач, поползень, пищуха обыкновенная, певчий дрозд, зарянка, весничка, лесной конек, чечевица, зяблик. Считаем, на уровне критерия $|\rho| > 0,71$ у данных видов невысокая информативность по индикации "фитоценотического фактора" среды $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$.

Виды с положительной детерминацией численности ($\rho^2 > 50\%$) фактором $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ эндогенного воздействия (коэффициент корреляции $\rho > + 0,71$) образуют вторую, а с отрицательной (коэффициент корреляции $\rho < - 0,71$) – третью группу видов (табл. 4.8).

Согласно табл.4.9 вторая группа индикаторных видов орнитофауны региона включает 24, а третья 15 видов птиц. Наилучшие вероятные индикаторы состояния фитоценозов – снегирь, полевой воробей, лесная завирушка, кукушка, для которых в пределах региона "фитоценотические факторы" среды в виде оценки $G^{(1)}[T_k(X_n^{(2)})]$ определяют в пределах региона 80% вариабельность численности данных видов.

4.4. Интегральное районирование по орнитологическим данным

Полученные результаты (определение вкладов территориальных признаков X_n) позволяют районирование региона с учетом воздействия на орнитофаунистические индикаторы взвешенных факторов окружающей среды. Формирование весового вектора $\Lambda = (\beta_1^2, \beta_2^2, \dots, \beta_n^2)$ в задаче таксономии проводится по описанной в гл. 2 методике - с компонентами, равными долям дисперсии β_i^2 отклика Y в задачах регрессии. Кластерный анализ проводится в пространстве территориальных объектов с метрикой Евклида $R_e^2 = \langle d_i | \Lambda^T \delta | d_i \rangle$. Некоторые результаты районирований региона представлены ниже.

Районирование региона по факторам – регрессорам моделей

Для определения зон действия факторов, маркируемых орнитологическими индикаторами, рассмотрим три системы векторов - факторов окружающей среды и их маркеры.

1. Маркер факторов - кластер $q_1^{op}(x_n)$ вариабельных видов орнитофауны. Компоненты вектора Λ взяты из модели 5: геоботанические условия $T(X_n^{(2)})$ – вклад 56% и антропогенный фактор $q_8(X_n^a)$, со вкладом в пределах региона 41%.

2. Маркер факторов - кластер $q_2^{op}(X_n)$ вариабельных видов орнитофауны. Из модели 6 описания территорий взяты компоненты весового вектора Λ : геоботанические условия $T(X_n^{(2)})$ – вклад 72% и учтенный антропогенный фактор (сельхозпроизводство, лесопользование и урбанизация), со вкладом 16%.

3. Маркер факторов – численность скворца. Из модели 4 описания территорий взяты компоненты весового вектора Λ : геоботанические условия

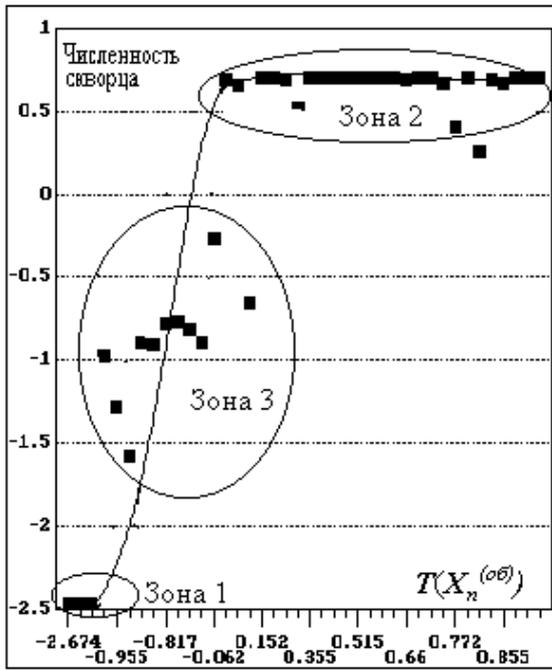


Рис. 4.5. Численность скворца в зависимости внешних факторов окружающей среды

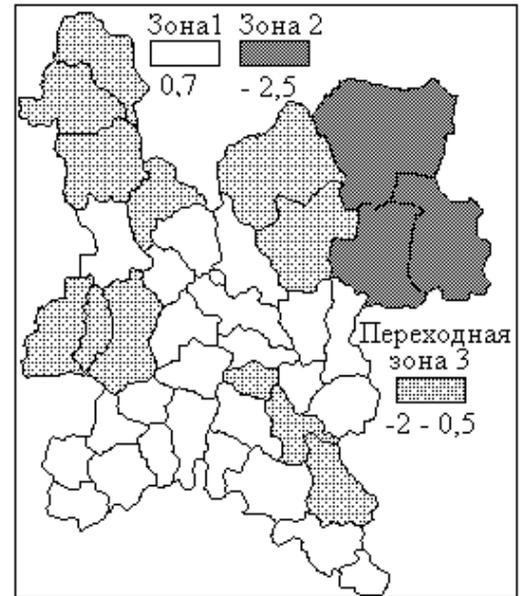


Рис. 4.6. Зоны равновесия (1 и 2) численности скворца $y^{(e)}$ и природных факторов

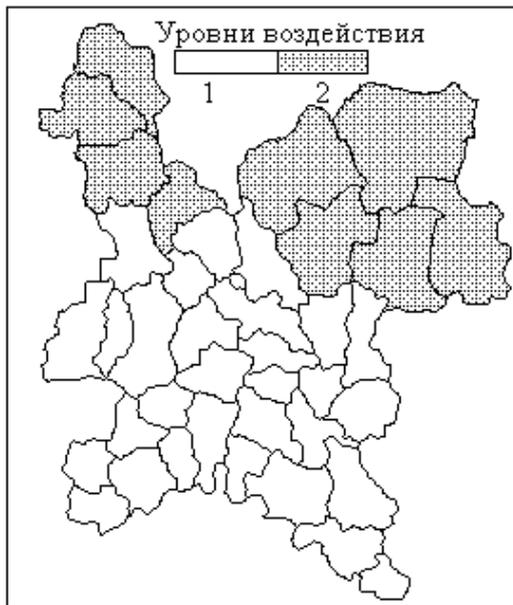


Рис. 4.7. Районирование по воздействию факторов окружающей среды. Маркер весов модели - кластер $q_1^{op}(X_n)$

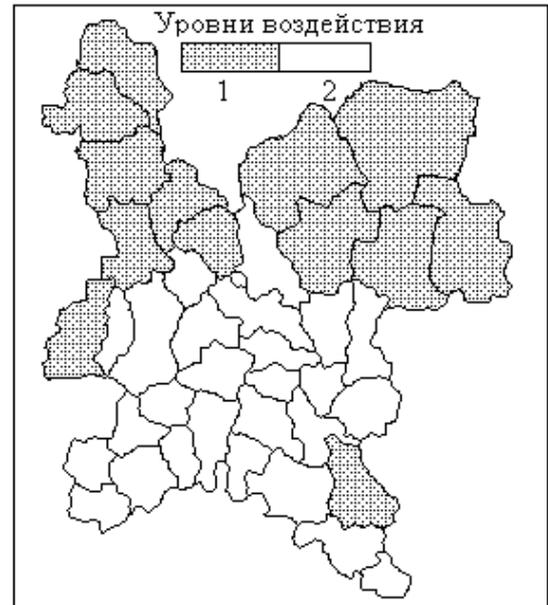


Рис. 4.8 Районирование по воздействию факторов окружающей среды. Маркер весов модели - кластер $q_2^{op}(X_n)$

$T(X_n^{(2)})$ – вклад 61%, климатические факторы $T(X_n^{(K)})$ – вклад 15% и антропогенные факторы $q_3(X_n^a)$ и $q_8(X_n^a)$ – с совместным вкладом 11%.

В картографическом виде результаты районирования территорий по данным трем системам векторов - факторов окружающей среды представлены на рис.4.7 - 4.9. Очевидно, что на всех картограммах, проявляются две зоны действия факторов, маркируемых орнитологическими индикаторами – Северная и Южная. Все три результата учитывают вклады факторов окружающей среды, воздействующих на орнитофаунистические индикаторы, дают географически сопряженные результаты, которые соответствуют эколого-географическому районированию Кировской области (рис. 3.4.).

Районирование региона по индикаторам –откликам моделей

Для выполнения интегрального районирования по индикаторам –откликам моделей воспользуемся рассмотренным выше "экспертным" методом (для всех моделей с орнитоиндикаторами). Переводя в порядковую шкалу коэффициенты множественной корреляции - признаки ij -моделей, "оценим" их системами регрессоров – матрицами Q_i и определим веса индикаторных признаков в виде суммы рангов. Данные кодов признаков (ранги моделей f_{ji}) занесены в табл.4.9.

Таблица 4.9

Ранги регрессионных моделей с орнитоиндикаторами вида "состояние окружающей среды – факторы воздействия"

Отклики Y_j	Ранги моделей f_{ji} для систем регрессоров							
	Q_{q8}	Q_{23}	Q_{11}	$Q_{э}$	$Q_{6г}$	$Q_{г,к}$	$Q_{гх2}$	$Q_{г,г}$
Численность скворца $Y^{\text{с}}$	2	3	2	3				
Кластер 17 видов птиц $q_1^{op}(x_n)$	3	3	2	3	2	3		
Кластер 16 видов птиц $q_2^{op}(X_n)$	2	3	2	3	2		3	3

Территория региона районирована по системе векторов $Z = r_{cp}Y$, с индикаторными признаками Y_j . Согласно расчетам, сделанным по данным табл.4.8 весовой вектор имеет следующие компоненты $r = (2,5; 2,67; 2,6)$. Итоговое районирование региона представлено на рис. 4.10. Численное моделирование, выполненное с учетом воздействия взвешенных факторов окружающей среды на орнитофаунистические индикаторы по 17 моделям, позволяет уверенно определить для задач РГСЭМ. как ареалогическую зональность фитоценозов области, так и определяемые ею виды птиц.

4.5. Индикаторы ресурсов животного мира

4.5.1 Маркеры оценки ресурсов промысловых животных

В моделях "окружающая среда – отклик индикатора" довольно заманчиво включать показатели государственного учета ресурсов, отображающие влияние хозяйственной деятельности человека на ареалы и плотность популяций

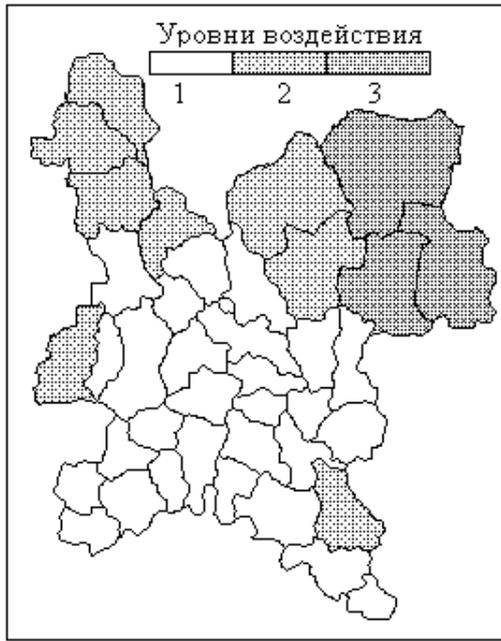


Рис. 4.9. Районирование по воздействию факторов окружающей среды. Маркер весов модели - численность скворца

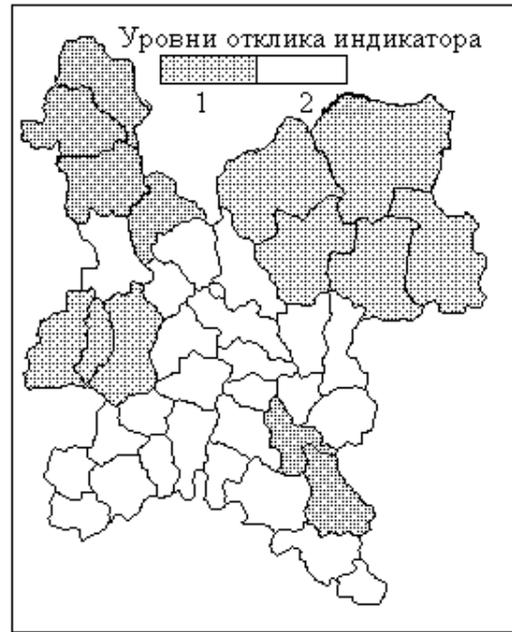


Рис. 4.10. Районирование по откликам, взвешенным в 17 моделях воздействий факторов среды на орнитоиндикаторы

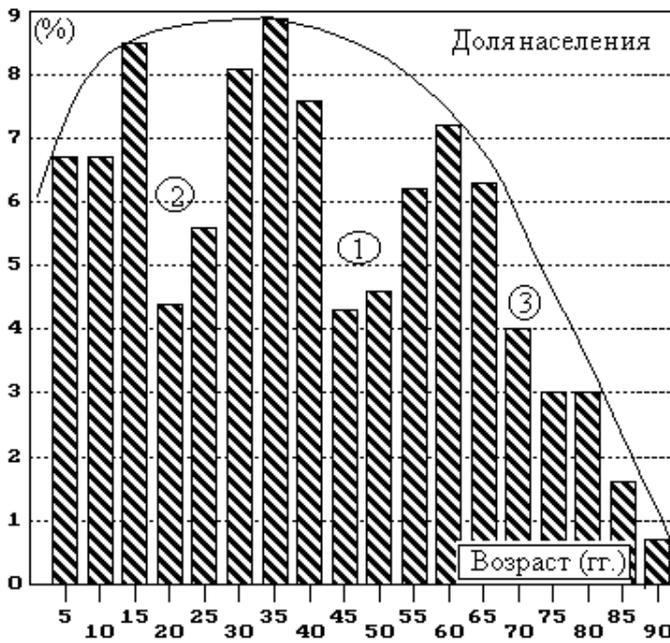


Рис. 4.11. Возрастная пирамида населения (1989г.)

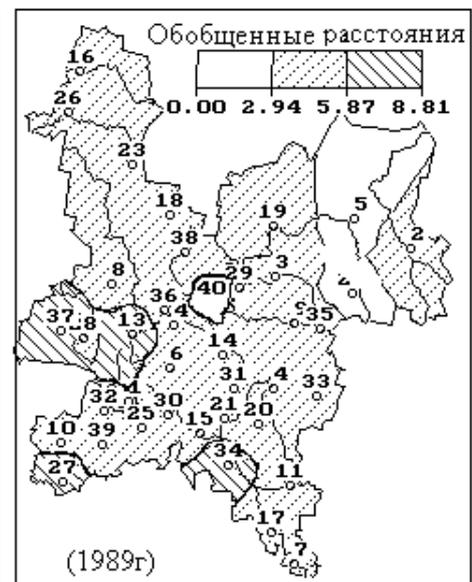


Рис. 4.12. Обобщенные расстояния между возрастными структурами населения области и г. Кирова

охотничьих видов животного мира. Для анализа информативности подобных индикаторов в качестве исходных параметров взяты послепромысловая численность и заготовки шкур зверей за 1981-1989гг. [65]. Из исходных данных по схеме факторного анализа сформированы кластеры ресурсов и объемов заготовок животных $q^{жс}(X_n)$. Из них значимы на уровне 0,05 два вектора (объемы заготовок выдры и крота) и два кластера $q_1^{жс}(X_n)$ и $q_2^{жс}(X_n)$.

Интегральная оценка видов фауны $q_1^{жс}(X_n)$

1. Кластер $q_1^{жс}(X_n)$ отражает численность и отстрел куницы, белки, горноста, зайца-беляка, лося, рыси, хорька. Все регрессионные модели взяты линейные: $q_1^{жс}(X_n) = \{P_n, a\} + \varepsilon^{(n)}$. В качестве предикторов $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$ взяты наборы признаков (аналогично использованным в п. 4.3.). По результатам численного эксперимента можно сделать следующие выводы.

Наиболее существенным фактором, определяющим численность данных видов фауны, являются геоботанические условия среды - признаки $X_n^{(2)}$, (для которых $N_s = 1$). Регрессия $X_n^{(2)}$ на отклик $q_2^{оп}(X_n)$, позволяет определить типы ландшафтов, со значимыми вкладами в пределах региона порядка $35 \pm 4\%$ в численность данных видов: среднетаежные леса: пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые, еловые зеленомошные кустарничковые, еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южнотаежные леса - еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые; широколиственно-сосновые подтаежные леса; пойменные луга разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов; вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных.

2. Из факторов антропогенного воздействия значимым является только $q_3(X_n^a)$, отображающий роль лесопользования. На фоне наиболее существенного фактора, определяющего численность видов - геоботанических условий $T(X_n^{(2)})$, вбирающих три четверти дисперсии отклика, остальное приходится на долю показателей климата, антропогенный фактор и неучтенный моделями "шум".

Рассмотренные модели имеют низкое качество ($R_{yy} < 0,90$), не позволяя шкалирование отклика. Поэтому комплексная оценка $q_1^{жс}(X_n)$ не может выступать в качестве монитора РГСЭМ.

Интегральная оценка видов фауны $q_2^{жс}(X_n)$

Кластер $q_2^{жс}(X_n)$ содержит показатели объемов отстрела лис, зайца-русака, норки, волка, енотовидной собаки, бобра, кабана и ондатры. Все модели использованы линейные: $q_2^{жс}(X_n) = \{P_n, a\} + \varepsilon^{(n)}$. В качестве предикторов $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$ взяты те же наборы признаков. По результатам численного эксперимента можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее существенным фактором, определяющим численность данных видов, являются геоботанические условия среды $X_n^{(2)}$, ($R_{ji} = 0,863$, $N_s = 1$). Единственный значимый (по критерию Стьюдента, $t = 2,9$) регрессор –

кластер 14 этапа объединения геоботанических характеристик представляет следующую группу ландшафтов: (вклад в дисперсию отклика $q_1^{op}(X_n)$. – 26 ± 10%): южнотаежные еловые долгомошные и сфагновые кустарничковые и травяные (влажные); подтаежные пихтово-еловые сложные (с липой, кленом, ильмом в подлеске) и широколиственно-еловые леса; сельскохозяйственные земли на месте подтаежных лесов; вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте сосновых лесов.

2. Из факторов антропогенного воздействия значимыми являются $q_3(X_n^a)$, отображающий роль лесопользования и $q_8(X_n^a)$ – сельского хозяйства. На фоне геоботанических условий $T(X_n^{(e)})$, вбирающих три четверти дисперсии отклика, остальное приходится на долю показателей климата, антропогенный фактор и "шум", неучтенный моделями.

Все модели имеют низкое качество ($R_{yy} < 0,90$), что не позволяет шкалировать отклик и рекомендовать $q_2^{op}(X_n)$ в качестве монитора РГСЭМ.

4.5.2 . Численность бурундука как вида-индикатора

В Кировской области в недавнем прошлом бурундук был объектом промысла, но добыча его была мала, что свидетельствовало о малочисленности вида. Картографирование его численности $Y^{(6)}$ по данным работы [90] отображает близость его ареала зоне темнохвойных лесов биогеографического районирования, говоря о доминирующем факторе фитоценологических условий.

Для верификации индикаторных свойств $Y^{(6)}$ - откликов на внешние факторы X_n поэтапно строились линейные регрессионные модели вида "Факторы среды - реакция индикатора": $Y^{(6)} = \{P_n, a\} + \varepsilon^{(6)}$. Наборы предикторов P_n из исходных признаков $X_n \in \mathfrak{R}^{40}$ представлены в табл. 4.10.

Наиболее существенными факторами, определяющими численность бурундука являются геоботанические условия среды (модель 1, $N_s = 2$). В регрессионной субмодели по P_n – кластерам геоботанических признаков выделяются значимый по критерию Стьюдента регрессор – кластер 17 этапа объединения ландшафтов: среднетаежные леса: пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые, еловые зеленомошные кустарничковые, еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южнотаежные леса - еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые; широколиственно-сосновые подтаежные леса; пойменные луга разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов; вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов (вклад в дисперсию численности бурундука 18 ± 4%), а также сельскохозяйственные земли на месте южнотаежных лесов (22±4%).

Из всех климатических показателей P_n (модель 2) значим только "климатический кластер" $q^{kl}(X_n^K)$.

Из факторов антропогенного воздействия (модели 3 и 4, $N_s = 1$) значимы лишь два - $q_3(X_n^a)$, отображающий лесозэксплуатацию с относительным весом 36±6% и $q_8(X_n^a)$, сельскохозяйственное производство (28±6%).

Таблица 4.10

Этапы моделирования численности бурундука как отклика на факторы среды

№	Предикторы численных моделей $P_n \in \mathfrak{R}^{40}$	R_{ji}	N_s	Оценка
1	Q_{23} – 23 геоботанических признака $X_n^{(e)}$	0,935	2	"удовл."
2	5 климатических признаков ($X_n^{(k)}$) и кластер	0,56	-	"плохо"
3	Q_{q8} – 8 кластеров $q_i(X_n^a) \div q_8(X_n^a)$.	0,86	1	"плохо"
4	Два кластера $q_3(X_n^a)$ и $q_8(X_n^a)$.	0,80	1	"плохо"
5	$T(X_n^{(e)}) + T(X_n^{(q)}) + T(X_n^{(k)})$	0,943	2	"удовл."

Наиболее существенными факторами определяющими численность бурундука (модель 5, предикторы тренд векторы субмоделей - геоботанические условия $T(X_n^{(e)})$ и суммарное антропогенное воздействие $T(X_n^{(q)})$ (кластеров $q_3(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$) являются геоботанические условия среды – вклад с относительным весом $73 \pm 5\%$ (коэффициент регрессии 0,79, при критерии Стьюдента с числом $t = 9,2$). На втором месте находится вклад воздействия сельскохозяйственного производства и лесозаготовки $15 \pm 5\%$, достоверный по критерию Стьюдента при $t = 2,3$ (коэффициент регрессии 0,35).

Таким образом, численность бурундука как возможного индикатора в Кировской области определяется двумя факторами: на 70% типом растительных ассоциаций и примерно на 15% хозяйственным воздействием в регионе.

"Информативные показатели", полученные в моделях обусловленности экологического состояния территорий факторами среды, со значимыми весами, должны входить в сетевые информационные ресурсы РГСЭМ Кировской области, как "приоритетные показатели РГСЭМ". Использование данных показателей для задачи районирования территории показало, что проведенные дихотомические типизации региона по всем значимым моделям дают географически сопряженные результаты, соответствующие эколого-географическому районированию Кировской области (рис. 3.4.).

4.6. Оценка социального здоровья на территориях региона

Важной задачей РГСЭМ, является поиск значимых показателей заболеваемости Y_n из числа отслеживаемых областными службами, проводимый в численном эксперименте в моделях вида "Факторы среды - здоровье человека".

Выбор приоритетов среди Y_n проводился в двух направлениях:

1. Агрегирование показателей Y_n в интегральные оценки $Q_k(Y_n)$, с их верификацией в значимых моделях. Чтобы отклик $Q_k(Y_n)$ служил маркером воздействий фактора, качество модели должно позволять шкалирование отклика (при $0,9 < R_{yy} < 0,96$ - две градации отклика, при $R_{yy} > 0,98$ - четыре и т.д. [52]).

2. Формирование обобщенных факторов с верификацией в тех же моделях. Сформированные комплексы показателей - обобщенные "экологический", "социальный", "климатический", "радиологический" факторы, состоят из показателей, отслеживаемых ведомствами и подлежащих мониторингу.

4.6.1. Показатели демографической ситуации

В рамках UNDP (United Nations Development Programms) - разрабатываемых ООН программ развития с 1990 г. ежегодно публикуются отчеты о человеческом развитии, куда входит и развитие населения [173]. Считается, что социально-демографические показатели, такие как воспроизводство населения, являются чуткими индикаторами социума и экономики. Поэтому, для системной полноты базовых моделей РГСЭМ необходимо привлечение данных мониторинга народонаселения региона.

Происходящие в последние годы социальные сдвиги затрагивают все стороны жизни населения области и вызывают изменения показателей всех параметров жизнедеятельности, в том числе и по основным демографическим индикаторам. Так на начало 1996 года, численность населения области составила 1635,5 тысячи человек, что на 0,6% меньше, чем на начало 1995 года. Число умерших превысило число родившихся в 1994 году - в 1,9 раза, в 1995 году - в 2 раза а на 9 месяцев 1996г. также в 2 раза. В среднем по области естественная убыль населения составила 8 человек на 1000 населения, наиболее высокая - в Мурашинском, Санчурском, Свечинском, Шабалинском районах (13-15 человек на 1000 населения). Число родившихся в 1995г. сократилось в сравнении с 1994 годом на 4,5 %. Наибольший спад рождаемости (на 20-26%) наблюдался в Кикнурском, Кильмезском, Подосиновском, Санчурском, Тужинском, Унинском и Шабалинском районах.

Был проанализирован ряд демографических показателей Кировской области. На рис. 4.11 представлена возрастная пирамида по пятилетним группам населения (данные 1989г.), построенная без учета полового различия. Доли молодых в структуре населения малы и возрастная пирамида имеет огибающую третьего типа - форму "урны" (по Ф. Бургдерферу), что характеризует население региона как "очень старое" (убывающее). Четко выражены следы социальных катаклизмов: первый (возрасты 45-50 лет), связанный с нарушением воспроизводства во время второй мировой войны и его "демографическое эхо", через поколение, обусловленное нарушением возрастной структуры (20-25 лет), а также третий (70-75 лет), связанный с гибелью населения во время второй мировой и нарушением воспроизводства во время первой мировой и гражданской войн. Заметим, что все три минимума происходят через одно поколение, и каждый катаклизм XX века точно приходится на "демографическое эхо" от предыдущего. Отмеченная синфазность процессов проявилась и в наше время - малые доли молодого населения в конце 80-х – начале 90-х гг. синхронизированы с известными событиями - распадом СССР и экономическими преобразованиями. Поэтому, наблюдающийся в середине 90-х гг. минимум воспроизводства населения не только совпадает с социально-экономическим кризисом, но и обусловлен вторым и третьим эхом двух мировых войн. Четвертым фактором может быть и комплекс социальных причин, приводящий в странах с определенным уровнем развития к уменьшению воспроизводства и старению населения.

Структура возрастных пирамид области имеет внутрорегиональные отличия. Их оценка в виде пространственной картины демографического

обобщенного расстояния в 18 - мерном пространстве пятилетних интервалов возрастов (по удаленности от структуры г.Кирова, метрика Евклида) приведены на рис. 4.12. Наиболее близки по возрастной структуре к г.Кирову промышленные районы северо-востока области, наиболее удален ряд юго-западных районов, с высоким вкладом групп пожилых контингентов населения.

4.6.2. Формирование оценок здоровья населения

Поиск показателей на базе учетных материалов медстатистики (форма 12), входящих в сетевой ресурс РГСЭМ возможен в моделях оценки вклада факторов среды в общественное здоровье. Так в работе [91] использованы регрессионные модели обусловленности патологий климатопогодными условиями, с картографированием рельефов полей корреляций и отклонений (остатков).

Нами для 13 нозоклассов с возможной экологической этиологией [92, 93] формировались отклики Y_n . Для детского населения это общая заболеваемость новорожденных, заболеваемость мочеполовой, эндокринной, пищеварительной системы, крови, аномалии развития, недоношенность и перинатальная смертность; для всех возрастных групп (стандартного населения, по методике работы [125]) – заболеваемость, смертность от злокачественных новообразований, а также тренды онкологических патологий (данные за 1988-1994гг. [78]).

Моделирование не выявляет откликов Y_n , удовлетворяющих χ^2 -критерию. Это требует комплексных показателей (BY), отображающих совокупную реактивность Y_n , и дающих лучшие результаты в компактных моделях. За относительные веса объектов в работе [94] было предложено брать компоненты собственного вектора. Поэтому нами проведены испытания интегральных оценок здоровья Θ_{kj} (h -главных компонент $G^{(h)}(Y_n)$ показателей нозоклассов Y_n , и их взвешенные по долям дисперсии α_n суммы) $\Theta_j = \sum \alpha_n G_{jn}$. Ряд таких оценок Θ был удовлетворителен по χ^2 -критерию в регрессионных моделях.

При формировании оценок здоровья модель учета статистической достоверности использует взвешивание, где элементы векторов Y сформированы как взвешенные надфоновые превышения над контрольными районами области с минимальной заболеваемостью X_ϕ для каждой нозологической единицы X_i :

$$Y_i = 1 - 2\pi^{0,5} \int_0^t \exp(-t^2/2) dt [1 - (X_i/X_\phi)],$$

где уровень t взят по вероятности достоверного различия X_i и X_ϕ , определяемой через интеграл Лапласа для нормально распределенной выборки.

Для отношения заболеваемости в i -районе X_i к фону: X_i/X_ϕ , критерий достоверности $t = (X_i - X_\phi)/(m_i^2 - m_\phi^2)^{0,5}$, для уровня 0,05 принимался $t = 2$. Ошибки показателей m_i и m_ϕ рассчитываются по формуле $m = [X_i (\kappa_p - X_i)]^{0,5}/N_i$, где N - объем выборки; κ_p - число людей, для которого рассчитывается X_i .

Из упомянутых 13 нозоклассов Y_n выделяется группа восьми единиц, где компонентный анализ устанавливает специфический характер распределения компонентных нагрузок $w_i^{(h)}$ по группам детских и онкологических заболеваний.

Анализ h -главных компонент $G^{(h)}(Y_n) = \sum w_i^{(h)} Y_n$ показывает, что первый фактор $G^{(1)}(Y_n)$ определяется в основном вариабельностью детской заболеваемости: эндокринной (0,49), пищеварительной (0,48) и мочеполовой (0,44) систем, болезнями крови (0,4) и аномалиями развития (0,38). Вклад онкологических классов в $G^{(1)}(Y_n)$ на порядок ниже. Вторым главным фактором $G^{(2)}(Y_n)$ содержатся нагрузки, определяемые показателями онкологии: смертность, заболеваемость и тенденции роста - 0,61; 0,57 и 0,45. Вклад нозологических классов детских контингентов в $G^{(2)}(Y_n)$ мал. Оценки $G^{(1)}(Y_n)$ и $G^{(2)}(Y_n)$ приведены в табл. 4.11. В силу ортогональности $G^{(1)}(Y_n)$ и $G^{(2)}(Y_n)$ - оба фактора являются аспектами общественного здоровья региона (использованы в значимых моделях [95]).

Региональный "инвариант" - восьмая главная компонента $G^{(8)}(Y_n)$ группы нозологических единиц Y_n характеризует структурную стабильность социального здоровья по данным признакам. В Кировской области максимальные нагрузки $w_i^{(h)}$ приходятся на векторы смертности (0,51) и заболеваемости (-0,68) злокачественными новообразованиями, а также заболеваемость пищеварительной системы детских контингентов населения (-0,40).

4.6.3. Обобщенные факторы-мониторы РГСЭМ

Создание базовых в РГСЭМ статистических моделей "Факторы среды - здоровье человека" требует выбора номенклатуры нозоклассов и показателей окружающей среды. Взвешиванию показателей Y_n в комплексной оценке заболеваемости, индицирующей экзогенные факторы среды $S_{бол} = (Y, B)$, уделено внимание в работах [95-98], где полагают, что вариабельность признака отражает средовые условия. В простейшем случае, за вес можно принять B - вектор коэффициентов вариации нозоклассов. Данные для 21 нозокласса заболеваемости детей в 1991-95 гг. взяты по учетным формам № 12.

Социально-демографические параметры $X_n^{(c)}$, характеризующие население районов области взяты по данным переписи населения 1989г., государственной статотчетности [83, 84], материалов ТерКСОП [65]. Кластеры климатических показателей сформированы из 11 параметров наблюдений на 18 метеостанциях, по остальным 22 районам данные рассчитаны обобщенным интерполятором Гаусса $f_G(x, y)$. Показатели природно-хозяйственной и социальной среды (матрица 264x40) преобразованы в кластеры (матрица 75x40).

Модель последнего уровня включает три фактора (тренд-векторы субмоделей предыдущих уровней) - социальных условий, хозяйственной деятельности и природных процессов. Критерий Фишера $F = 5,4$ ($n = 39/36$) - модель значима, $R_{yy} = 0,92$, и по χ^2 -критерию допускает две градации шкалы, при 83% объяснимости отклика совокупным действием факторов. Фактор воздействия за счет показателей социальных условий жизни - $52 \pm 16\%$; коэффициент регрессии $K_c = 0,59$ (при критерии Стьюдента с $t = 4,4$); за счет хозяйственной деятельности - $14 \pm 4\%$; $K_a = 0,18$ ($t = 1,6$); естественных процессов - $17 \pm 4\%$; $K_e = 0,22$ ($t = 2,2$).

Проведенная классификация районов по этим трем факторам выделяет две зоны - центральную и остальную часть области.

Таким образом, поиск значимых признаков среды, из числа ведомственных показателей в моделях "Факторы среды - здоровье человека" указывает на номенклатуры нозоклассов, и показателей окружающей среды - мониторов РГСЭМ для сетей наблюдений региона (список приведен в [32]).

4.7. Конверсия показателей в другие типологии

Задача экологической оценки территорий при наложении типологически разнородных данных различных ведомств, требует преобразований данных по другим субтерриториальным единицам. Для оценки состояния территорий применялось два алгоритма конверсии показателей X_n :

1) Показатели административных районов $X^{(1)} \in \mathfrak{R}^{40}$, преобразуются в параметры водосборов $X^{(2)} \in \mathfrak{R}^{24}$ или почвенных округов $X^{(3)} \in \mathfrak{R}^{14}$ в допущении равномерной плотности параметра X_n внутри территориальной единицы.

2) Построение непрерывного рельефа поля показателей $X_n \in \mathfrak{R}^p$ обобщенным интерполятором Гаусса $f_G(x,y)$ (см. выше), с последующей дискретной выборкой по произвольно задаваемому образцу $\varphi(x,y)$.

4.7.1. Показатели природных процессов

Для типизации бассейнов водосбора взяты наиболее общие оценки естественных природных процессов - кластеры $q_1(X_n^n)$, $q_2(X_n^n)$, $q_5(X_n^n)$, $q_6(X_n^n)$. Их конверсия по алгоритму прямого пересчета дает по 24 бассейнам водосбора следующие распределения расчетных показателей (табл. 4.11).

Типизация бассейнов в пространстве конвертированных данных \mathfrak{R}^p (p - 25 природных параметров и кластеров, метрика Евклида) показывает, что наибольшим сходством обладают попарно: бассейны рек: Б.Кокшаги и Б.Кундыш (дистанция $R_e=0,8$); Верхнелужский и Вохминский ($R_e=1,2$); Ветлужский, р.Б.Какши ($R_e=1,2$) и примыкающий к ним на следующем этапе Моломский ($R_e=2,4$); Быстрицкий и Средневятский ($R_e=2,4$); Великой и Летки ($R_e=2,7$); ВерхнеВятский и Белохолуницкий ($R_e=2,7$). Два последних таксона входят в обширный кластер центра области ($R_e=2,7$). Наибольшее отличие имеют бассейны рек и их группы (кластеры): НижнеВятский левый ($R_e=6,2$); Б.Кокшаги и Б.Кундыша ($R_e=5,9$); ВерхнеКамский и В-Сысольский ($R_e=5,3$).

Конверсия оценок природных процессов в типологию почвенных округов дает оценки кластеров $q_1(X_n^n)$, $q_2(X_n^n)$, $q_5(X_n^n)$, $q_6(X_n^n)$, представленные в табл.4.12. Классификация почвенных округов по тем же 25 признакам показывает, что наиболее сходны попарно: Вятско-Ветлужский и Вятско-Пижемский округа ($R_e=2,2$), районы севера и центра Вятского Увала ($R_e=2,3$), образующие на третьем этапе обширный кластер, охватывающий центр области ($R_e=2,4$). Наибольшее отличие по системе природных показателей ($R_e=5,2$ и $R_e=4,8$) от всего массива имеют кластеры юга области, с Кильмезским и Мари-Турекским округами, и Ярано-Кокшагский и Ярано-Немдинский районы.

Таблица 4.11.

Относительные характеристики водосборных бассейнов региона по кластерам показателей природных процессов и оценкам заболеваемости

Бассейн	Природные факторы				Заболеваемость	
	$q_1(X^n_n)$	$q_2(X^n_n)$	$q_5(X^n_n)$	$q_6(X^n_n)$	$G^{(1)}(Y_n)$	$G^{(2)}(Y_n)$
Лузский	-0,14	-0,82	-1,37	-0,61	-1,97	0,62
Бассейн р.Юг	-0,54	-1,14	-0,99	-0,73	0,92	-0,06
Моломский	-0,46	-0,60	-0,89	-0,41	0,91	1,70
Р.Великой	-0,19	-0,04	-0,58	-0,46	0,41	1,01
Р. Летки	0,41	0,27	-0,74	0,36	-1,08	1,99
Р.Кобры	-0,37	1,11	-1,29	-0,75	-2,13	-0,87
В-Камский	-0,48	2,13	-1,31	-0,65	-2,45	-1,71
В-Вятский	-0,35	1,64	-0,96	-0,71	-0,84	1,20
Б-Холуницкий	0,16	1,03	-0,67	-0,35	-0,84	1,35
Чепецкий	-0,17	0,75	-0,22	-0,18	0,36	4,18
Ветлужский	-0,63	-1,01	-0,31	0,00	0,52	-1,04
Быстрицкий	-0,12	-0,10	-0,30	0,95	5,00	2,41
С-Вятский	0,21	-0,26	0,24	0,48	3,03	0,92
Пижемский	0,17	-0,78	0,39	0,45	2,94	-1,85
Р. Вои	-0,40	0,33	0,58	0,24	-1,89	-0,22
Р.Кильмезь	-0,53	0,49	1,04	-0,69	0,54	-0,86
р. Б.Кокшаги	-0,70	-1,68	0,99	-0,77	0,13	-1,96
Н-Вятский (п)	1,54	0,04	1,47	-0,02	-3,19	-2,21
Н-Вятский (л)	1,67	0,09	1,85	-0,08	-0,40	-0,89
В-Лузский	-0,90	-0,55	-1,55	-0,96	-0,23	0,27
В-Сысольский	-0,40	2,16	-1,50	-0,60	0,02	0,03
Вохминский	-0,84	-0,72	-1,34	-0,88	0	0,10
р. Б. Какши	-0,80	-1,10	-0,40	-0,30	0,27	-0,64
р. Б.Кундыш	-0,70	-1,84	1,03	-0,74	0	-0,62

4.7.2. Районирование по антропогенному воздействию

Для установления однородных территорий региона в других территориальных типологиях была проведена числовая таксономия (метрика Евклида) в пространстве показателей воздействий по 12 "независимым" параметрам антропогенного воздействия X^a и кластерам $q(X^a_n) \in \mathfrak{R}^{12}$.

Классификация водосборов

Наиболее сходны водосборы Б.Кокшаги и Б.Кундыша ($R_e=0,45$); Верхне-лузский и Вохминский (0,67), Ветлужский, Б.Какши (0,72) и примыкающий к ним Моломский (1,28); Вои и Пижмы (1,01); Чепецкий и Средне-Вятский (1,3). Наиболее отличны: кластер 20 этапа - северные бассейны - Лузский, Верхнекамский и Верхнесысольский ($R_e=3,51$); кластер центра области ($v=21$) - Быстрицы и Летки, (3,14) отличный от остального массива. При $R_e=3,04$ между обоими компонентами, кластер сильно неоднороден, отражая мозаичность промышленно-транспортного освоения территорий вокруг областного центра.

Таблица 4.12

Относительные характеристики почвенных округов по кластерам показателей природных процессов

Почвенные округа	Природные факторы (кластеры показателей)			
	$q_1(X^n_n)$	$q_2(X^n_n)$	$q_5(X^n_n)$	$q_6(X^n_n)$
1. Моломо-Лузский	-0,31	-0,94	-1,22	-0,66
2. Северных Увалов	-0,60	0,27	-1,24	-0,75
3. Вятско-Ветлужский	-0,47	-0,94	-0,29	0,08
4. Север Вятского Увала	0,48	0,14	-0,46	0,54
5. Верхневятский	-0,26	1,72	-1,23	-0,63
6. Верхнекамский	-0,49	1,88	-0,99	-0,70
7. Вятско-Пижемский	0,44	-0,81	0,16	1,09
8. Центр Вятского Увала	-0,27	-0,03	0,07	0,44
9. Чепецко-Кильмезский	-0,52	0,74	0,15	-0,34
10 Ярано-Кокшагский	-0,69	-1,57	0,91	-0,63
11 Ярано-Немдинский	0,16	-0,72	0,61	-0,18
12 Юг Вятского Увала	1,28	0,02	1,22	0,01
13 Кильмезский	0,44	0,17	1,47	-0,41
14 Мари-Турекский	2,00	0,07	1,91	0,01

Классификация почвенных округов

Наиболее сходны по антропогенному воздействию: Вятско-Пижемский и Чепецко-Кильмезский ($R_e = 1,1$), примыкающие к округу Центра Вятского Увала (1,2), образуя пояс центральных районов в широтном направлении; Ярано-Немдинский и юга Вятского Увала, (1,2), проходящие через юг области; Верхневятский и Верхнекамский - округа (1,4), на следующем этапе ($R_e=1,4$) примыкающие к округу Северных Увалов, широтно опоясывая север области.

Таблица 4.13

Сравнительные характеристики кластеров почвенных округов по кластерам антропогенных воздействий

ГРУППЫ ТЕРРИТОРИЙ Кировской области	ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ (кластеры параметров)					
	a_0	b_5	b_8	l_5	t_1	t_2
Кластеры округов						
Север Вятского Увала	1,2	0,4	0,8	-1,2	0,2	0,2
Северные районы	0,3	-0,7	-0,3	0,5	0,9	-0,7
Остальные районы	-0,3	0,1	-0,3	0,3	-0,3	0,3
	t_7	y_1	q_3	q_4	q_7	q_8
Север Вятского Увала	0,5	0,9	0,3	0,2	0,7	-0,4
Северные районы	-0,4	-0,2	1,4	-0,2	0	-1,3
Остальные районы	0,1	-0,1	-0,5	-0,1	-0,1	0,5

На наибольших дистанциях R_e по антропогенным воздействиям от всего массива находятся следующие кластеры округов: Моломо-Лузский, Северных Увалов, Верхневятский и Верхнекамский ($Re=3,2$) - кластер северных районов Кировской области; округ северной части Вятского Увала ($Re=3,1$); кластер центральной части области, с максимальными показателями антропогенных воздействий; кластер всей остальной территории ($Re=3,2$). Сравнительные характеристики приведены в табл.4.13.

Согласно табл.4.13 антропогенное воздействие в округе севера Вятского Увала характеризуется максимальным использованием сельхозугодий, уровнем сельскохозяйственного производства, автотранспортным освоением, нарушением земель в структуре земельного фонда, числом захоронений химических веществ, максимумом комплексных характеристик промышленно-транспортного освоения территории $q_4(X_n)$ и антропогенного воздействия $q_7(X_n)$ (по отношению к кластерам северных и остальных районов области).

Данные нозологических учетных форм в типологии водосборов

Задача преобразования показателей заболеваемости населения по отчетным нозологическим формам необходима для проведения в другой типологии поиска "экологически обусловленной" этиологии заболеваемости.

Для этого рассмотрены первая $G^{(1)}(Y_n)$ и вторая $G^{(2)}(Y_n)$ главные компоненты 11 нозологических форм Y_n за 1989-1993гг. (см. табл. 4.11). Видно, что $G^{(1)}(Y_n)$ максимальна для Быстрицкого (5,00), Средневятского (3,03) и Пижемского (2,94) бассейнов водосбора, образующих единую зону повышенной детской заболеваемости на юго-западе центральной части Кировской области.

Величины $G^{(2)}(Y_n)$ максимальны для Чепецкого (4,18), Быстрицкого (2,41) и бассейна р. Летки (1,99) и также образуют географически единую зону, но в северо-восточной части центральной части Кировской области. Нозоареал, отображая повышенную онкологическую заболеваемость, что возможно индицирует и ее экзогенную этиологию. Особенно характерен бассейн р.Чепцы, что может быть связано с многолетними сбросами в реку отходов предприятия ядерного топливного цикла в г. Глазове [32].

4.8. Список приоритетных показателей систем наблюдений

Развертывание РГСЭМ предполагает эффективное использование показателей, отслеживаемых ведомственными системами мониторинга. Проведенные оценки весовых вкладов компонентов и роли отдельных факторов позволили отобрать ряд групп значимых показателей из их числа. Исходные признаки, приведенные ниже, являются рекомендуемыми – "приоритетными показателями" и должны поступать в банк данных РГСЭМ, с частотой актуализации, определяемой ведомственными нормативами.

1. Управлением лесами отслеживается: покрытая лесом площадь по преобладающим породам (%): хвойные (молодняки, средневозрастные, приспевающие); хвойные (спелые и перестойные); лиственные молодняки, средневозрастные, приспевающие); лиственные (спелые и перестойные);

антропогенная трансформация растительного покрова; процент лесных земель; интенсивность лесопользования: объем рубок главного пользования в год, тыс. куб.м; площадь сплошных вырубок в год, тыс. га; лесные площади (%); из них лесосырьевые базы (%); доля площади, занятая под сельхозугодья).

2. Управлением охотничьего хозяйства, ВНИИОЗ, отслеживается состояние растительных ресурсов (грибов, дикорастущих ягод); орнитофауны (списки видов см. в п.4.3); проводятся оценки объемов заготовок шкур, численности и отстрела диких животных, а также численности бурундука.

3. Департаментом здравоохранения отслеживаются показатели здоровья населения: детских патологий (заболеваемости и болезненности) эндокринной системы; нервной системы; болезней крови; органов дыхания; бронхиальной астмы; бронхита; органов пищеварения; гастрита и дуоденита; мочеполовой системы; нефрита и нефроза; кожи и подкожной клетчатки, а также общей заболеваемости новорожденных, аномалий развития, недоношенности и перинатальной смертности. Онкологическим диспансером региона проводится отслеживание заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований по отдельным локализациям совместно с данными по полу, возрасту и месту жительства. Все показатели нормируют на стандартное население.

В городах ГорЦГСЭН проводится отслеживание частот вызовов станций "Скорой помощи" с диагнозом "острый приступ бронхиальной астмы" и общего количества вызовов по всем аллергическим нозоклассам. Рассчитывается среднее количество вызовов за год и делается выборка по всем нозоклассам. Проводится нормирование частот вызовов для взрослого и детского контингентов с учетом стандартизованного населения.

4. ЦГСМ отслеживаются климатические показатели: эквивалентная температура июля; процент комфортной погоды; продолжительность периода с температурой $t < -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-5 < t < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t > +15\text{ }^{\circ}\text{C}$; уровень теплообеспеченности ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$); среднемесячная скорость ветра в январе; высота снежного покрова; количество осадков; количество дней с метелью; дней со снежным покровом; модуль поверхностного стока.

5. Облгоскомэкологии, ОблЦГСЭН отслеживаются показатели загрязнения среды: выброс диоксида серы, оксидов азота; углерода; количество жидких, газообразных и твердых отходов.

6. Комитетом государственной статистики отслеживаются показатели, формирующие "социальный" фактор воздействия (%): занятые, трудоспособные лица; доля работающего населения; пенсионеров; рабочих; крестьян; служащих; лиц с высшим и средним образованием; со средним образованием; занятость в промышленности; сельском хозяйстве и лесной промышленности; торговле; сфере культуры; число русских; украинцев; число марийцев; татар; удмуртов; лиц прочих национальностей; долю проживающих в частных домах; части частного дома; в отдельной квартире; в коммунальных квартирах; общежитии; процент наличия водопровода; ванной и душа (с усреднением по группам зданий); мощность поликлиник; число врачей; среднего медперсонала; обеспеченность больничными койками; рождаемость на 1000 человек; процент несчастных случаев; самоубийств; хронических алкоголиков; общая детская

смертность; доля основных возрастных групп; общие коэффициенты рождаемости, брачности, разводимости, смертности; численность занятого населения; уровень безработицы; среднемесячная зарплата; жилищный фонд на одного жителя; средний уровень благоустройства жилищного фонда; число семей, состоящих на учете для получения жилплощади; число постоянных дошкольных учреждений; численность детей в постоянных дошкольных учреждениях; число учащихся; количество учебных учреждений; численность массовых библиотек; розничный товарооборот на душу населения; объемы услуг населению (на одного жителя) - платных и бытовых; перевозки грузов автотранспортом; грузооборот автотранспорта; прибыль, убыток предприятий и организаций; удельный вес убыточных предприятий и организаций; прибыль, убыток предприятий от реализации продукции; объем продукции промышленности; индексы физического объема продукции промышленности; урожайность картофеля, зерновых, овощей; производство молока, мяса; продуктивность скота; объем капитального строительства (млн.руб.).

7. Показатели урбанизации территории (Облгоскомэкологии, Комитет госстатистики): потребление воды в районе; плотность промышленного потенциала; автотранспортное освоение территории; процент земель под дорогами и постройками; населенческий индекс урбанизации; уровень заселенности территории; число сельских населенных пунктов; число населенных пунктов на тыс.кв.км; население районов (тыс. чел.). Кроме того, рассчитываются комплексные оценки: уровня воздействия на территорию (сброса проточных вод, сельскохозяйственного производства, антропогенного воздействия); гигиенического состояния среды; уровня воздействия на поверхностные воды; уровня развития (промышленного производства, сельхозпроизводства, транспорта, лесозаготовки, заселенности территории).

8. Показатели структуры земельного фонда (Облкомзем): структура (%) земельного фонда (земли сельскохозяйственных предприятий, запаса, населенных пунктов, лесохозяйственных предприятий, промышленности и транспорта), структура земельного фонда по видам угодий (сельхозугодия; лесные площади; древесно-кустарниковые насаждения; болота; под водой; под общественными дворами, под дорогами, постройками; нарушенные земли; прочие земли); структура земельного фонда сельхозугодий (земли, занятые под сельхозпроизводство; степень распаханности территорий; интенсивность использования сельхозугодий);

9. Интенсивность химического воздействия на сельхозугодья (АХЦ "Кировский", Областная станция защиты растений): количество вносимых минеральных удобрений; количество вносимых пестицидов.

ГЛАВА 5. ВОПРОСЫ РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ВЫПАДЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Оценка природной среды включает контроль процессов содержания и массообмена элементов в регионе - эмиссии, выпадений, миграции и депонирования. Поэтому важнейшей задачей РГСЭМ является определение основных источников загрязнения и контроль главных путей миграции поллютантов [85].

Поскольку 90% элементов в организм человека поступает с пищей и водой, то мониторинг должен направляться на агрофитоценозы. Контроль, в соответствии с действующими рекомендациями, ориентирован на загрязнение почв и должен проводиться по ним. Однако, по принятым маркерам загрязнения даже на "условно-чистых" почвах зачастую получается токсичное зерно [99]. Это требует поиска маркеров интенсивности потоков химических элементов в трофических цепях биогеоценозов на различных уровнях.

В данной главе рассмотрены вопросы геохимической типизации региона и маркеров аэрогенных выпадений тяжелых металлов. Для выполнения интегральной оценки наиболее трудно формирование системы признаков, что производится обычно с привлечением экспертов, или путем моделирования. Для концентраций поллютантов в депонирующих средах [100] «интегральной мерой» нагрузки является реакция биотестов. Данный подход к определению интегрального показателя является перспективным, однако для различных токсиантов необходимы и разные биотесты. Это определяет надобность в поиске биотеста по критерию максимальной информативности, которая понимается как максимум дисперсии между разными вариантами опыта при минимуме дисперсии внутри одного варианта.

На региональном уровне картина атмосферных выпадений уже сама по себе достаточно интегрирована и требует лишь адекватного описания. Таковым является районирование территорий по уровню депонирования поллютантов в природных средах, например в биологических объектах (обзор видов приведен в [101]). Так в Дании, Норвегии, Швеции, Исландии, Гренландии, Финляндии, ФРГ за последние четверть века мхи стали стандартным монитором выпадений следовых элементов от промышленных источников [102, 104]. Листья мхов, имеющие толщину в монослой клеток, близко расположены и интенсивно фильтруют воздух. Сплошной покров мхов, не контактируя с почвой и подстилкой, имеет минимальную вероятность загрязнений металлами с субстрата. Аналогичный контроль выпадений проводится и в Польше (мхи *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*), где повышенные содержания тяжелых металлов фиксируются вблизи промышленных центров, причем отмечают их пропорциональность суммарному количеству осадков [103].

Мхи задерживают почти 100% первоначальных аэрозольных выпадений, и лишь около 20% из них смываются дождями. Мхи формируются в течение несколько лет, отслеживая средние значения атмосферных выпадений за три года (берутся три последних сегмента стебля [104]). Эффективность накопления η составляет для элементов: *Pb* - 100%., *Cr* - 84%, *Cd* - 65%, *V* - 54%, *Zn* - 41%, *As* - 32%, причем различий в накоплении следовых элементов мхами видов *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* не отмечается [102]. Однако, рас-

четы, по данным работы [105] дают различия для биоаккумуляторов по элементам: $Cd - 1,7$; $Cu - 1,4$; $Fe - 1,1$; $Ni - 1,7$; $Pb - 1,3$; $Zn - 0,97$ (отношение концентраций металлов в первом виде мхов ко второму).

Другой биоаккумулятор выпадений - хвоя *Pinus Silvestris* ("универсального индикатора аэрогенных загрязнений" [106]). Сосна - эффективный поглотитель тяжелых металлов за счет диффузионного осаждения в полостях листа при низкой десорбционной способности выноса с поверхности при испарении влаги. [107]. Данные по регионам приведены в работах [106,107].

На начальном этапе мониторинга аэрогенных загрязнений необходимо проведение следующих широкомасштабных исследований в регионе: содержания элементов в почвах (на биогеохимических барьерах), осадений поллютантов на мхи и хвою сосны, соотнесение результатов со структурой данных по почвам и оценка показателей на их пригодность как мониторов РГСЭМ, а также зонирование аэрогенных выпадений в региональном масштабе.

5.1. Геохимическая типизация почв территорий региона

Для организации РГСЭМ необходимо установление территориальных геохимических особенностей с учетом геоморфологии точек пробоотбора, сорбционных свойств почв и загрязнения наземных геосистем. Кроме того на локальном уровне (пробоотбора), согласно работе [108], в фоновых эколого-геохимических катенах (водосборах 1-2 порядка) выделяются три ведущих фактора миграции элементов: литогенный, обусловленный ролью почвообразующих пород, биогенный, определяемый радиальной дифференциацией вертикального профиля ландшафта (концентрация в гумусе и вынос древесными растениями) и латеральный - за счет водной и механической миграции, с концентрацией элементов в подчиненных ландшафтах (Cu , Zn , Cr , V , Ni и др.).

Что касается выпадений, то в атмосфере концентрации поллютантов сильно варьируют. Поэтому для формирования устойчивых оценок необходимы либо постоянные измерения с усреднением данных, либо контроль выпадений по депонирующим средам (почве, снегу, мхам, лишайникам, листве и коре деревьев). Однако, и для них отмечается высокая пространственная неоднородность загрязнения снега и особенно почв. Так, в работе [109] установлено, что коэффициент вариации κ_g валового содержания концентраций металлов для фоновых районах Русской равнины на площадях порядка 5 га достигает 10-20%, для подвижных форм - 25-30%, а по данным работы [110] для почв заповедных территорий κ_g составляют 20-80%, а для для подвижных форм металлов - 30-130%. Согласно работе [111] при техногенном загрязнении вариабельность κ_g возрастает с 5-20% до 40-110% (на площади 1 га), а по снегу коэффициент вариации водорастворимых форм Cu , Zn , Pb , Cd в пределах площадки 100x100 м составляет 20-80%. Возможные причины - перераспределение элементов талыми водами в пределах рельефа, вариабельность "ассимиляционной емкости", биологической активности почв и неравномерность выпадения осадков. Неоднородность полей загрязнения требует больших выборок и различных процедур физического усреднения для получения надежных оценок [31].

В 1991-1993гг. были исследованы концентрации микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Кировской области в горизонтах А (0-5см) по сетке пробоотбора 15x15км и выполнена ее эколого-геохимическая карта [73, 74]. Отмечено, что региональный фон для *Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Ag, Mo, Sr, U* и *P* соответствует кларкам. Обширная база данных (1091 проба по 21 элементу), требует анализа для установления геохимических особенностей региона.

Для этого проводилась типизация территорий по содержанию следовых элементов в почвах по 21 химическому элементу исходной матрицы показателей $\{Z^n_n\}$, полученных по 1091 точке пробоотбора [73, 74], и усредненных по 69 площадкам S_m . Так в пространстве объектов $\mathfrak{R}^{(2)}$ (центрированных логарифмов концентраций) численная таксономия (метрика Евклида) по площадкам S_m выявляет восемь независимых векторов: пять кластеров и три исходных объекта Z^n_n (для *Sr, Ti, Ag*) в почвах. Кластер 8 этапа $W_8\{Z^n_n\}$ объединяет *P* и *Mn*; 10 этапа $W_{10}\{Z^n_n\}$ - *Ba, Zr, V*; 11 этапа $W_{11}\{Z^n_n\}$ - *Ni, Cu, V, Zn, Cr*; 12 этапа $W_{12}\{Z^n_n\}$ - *Co, Ga, Nb, Pb*; 13 этапа $W_{13}\{Z^n_n\}$ - *Sn, Mo, Th, U*.

На втором этапе таксономии в пространстве территорий $\mathfrak{R}^{(s)}$ (метрика Евклида) объединялись 69 векторов S_m по сходству следовых элементов в почвах (пяти кластерам и трем векторам концентраций). В пятитаксонной типологии территорий S_{jm} проявляются геохимические структурно однородные территории - три кластера территорий 57, 63, 65 этапов и два независимых вектора S_1, S_2 . Кластеры $U_{63}\{S_m\}$, $U_{57}\{S_m\}$ и $U_{65}\{S_m\}$ включают 33, 26 и 8 площадок S_m , соответственно. Географическое распределение следовых элементов в почвах (по 5 кластерам и трем металлам) дано на рис.5.1. Согласно рис.5.1 можно сделать выводы, что за исключением небольших очагов по содержанию следовых элементов в почвах (5 кластерам и трем металлам) область делится на южную зону - кластер $U_{57}\{S_m\}$, центр области - кластер $U_{65}\{S_m\}$ и северную - кластер $U_{63}\{S_m\}$, кроме северо-западных районов области, структурно соответствующих кластеру $U_{57}\{S_m\}$. Кластер $U_{65}\{S_m\}$ - центр области, Вятско-Полянский (правобережная часть), Яранский и юг Афанасьевского районов имеет повышенные значения по техногенным элементам *Ni, Cu, V, Zn, Cr*, составляющих кластер показателей $W_{11}\{Z^n_n\}$.

Отмечаются и структурно отличные очаги на границах области - в Санчурском и Кильмезском районах (S_1 и S_2),

5.2. Элементы в почвах в типологии агроэкомониторинга

Агроэкологический мониторинг Кировской области [60] как подсистема РГСЭМ базируется на районировании территории региона на 14 округов [72] по условиям формирования почв и дифференциации их структуры. Для поддержки мониторинга необходимы оценки фонового содержания элементов, проведенные в данной типологии. В табл.5.1. приведены результаты расчетов средних (в логнормальной модели) содержаний элементов в почвах Кировской области Z^n_n для каждого из 14 округов. Для сравнения даны средние данные [75] для г. Кирова (464 пробы), в том числе и вокруг основного городского источника аэрозольных поллютантов – района вокруг ТЭЦ-4 (62 пробы).

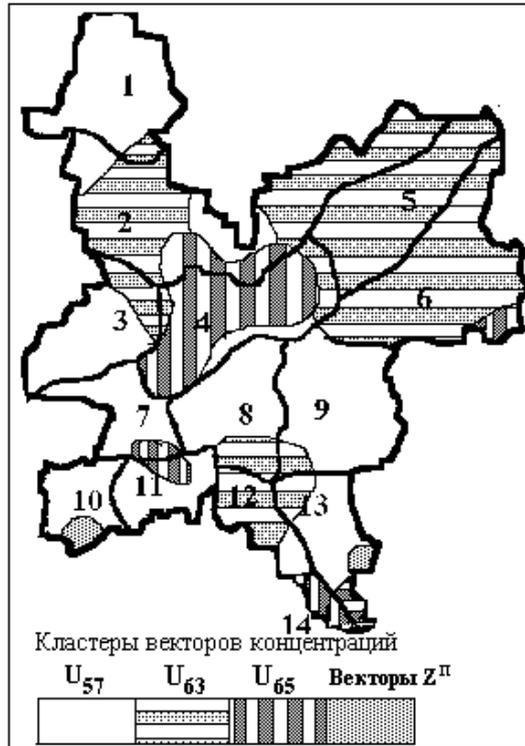


Рис. 5.1. Районирование территорий по кластерам валового содержания тяжелых металлов в буферном слое (А) почв



Рис. 5.2. Распределение содержания Co в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

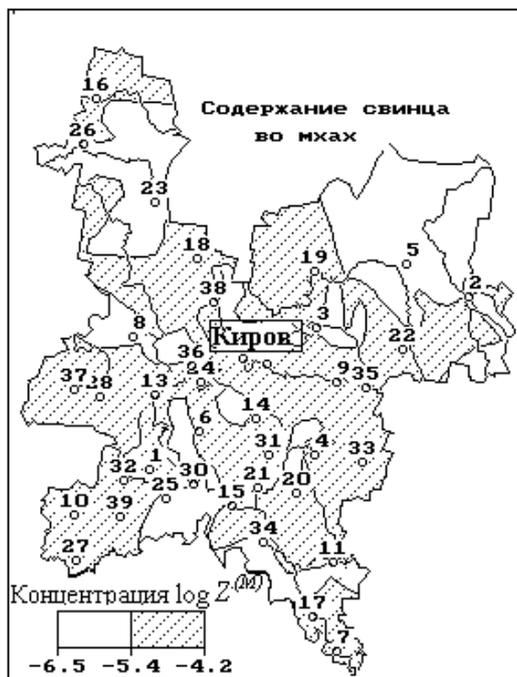


Рис. 5.3. Распределение содержания Pb в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

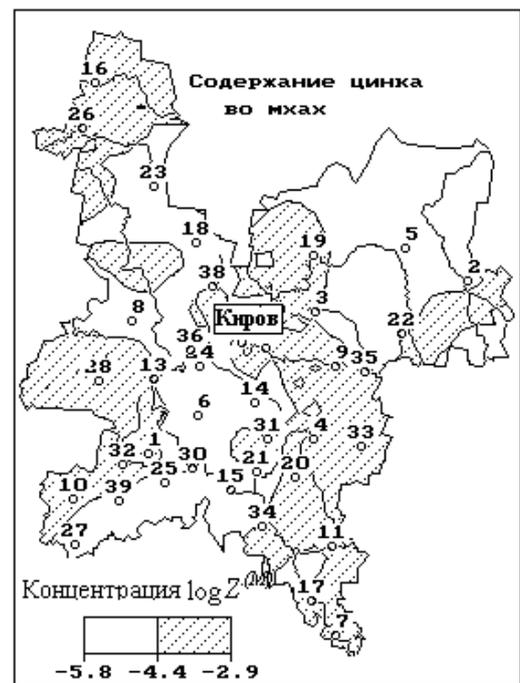


Рис. 5.4. Распределение содержания Zn в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

Таблица 5.1

Следовые элементы в горизонтах А почв по округам агроэкомониторинга

Почвенные округа Кировской области	Концентрации элементов (мкг/кг)								
	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>
Моломо-Лузский	4,5	25	1,2	27	12	39	63	740	1140
Северных Увалов	7,9	30	1,7	38	13	60	67	110	1140
Вятско-Ветлужский	5,6	28	1,3	34	10	54	58	780	930
Север Вятского Увала	5,9	33	1,4	40	12	56	58	850	880
Верхневятский	4,4	22	2,2	25	10	40	57	670	1100
Верхнекамский	4,1	27	2,1	30	11	50	51	480	780
Вятско-Пижемский	3,4	26	1,1	21	8	39	51	450	780
Центр Вятского Увала	6,9	35	1,5	43	14	65	62	930	780
Чепецко-Кильмезский	7,3	34	1,3	46	13	59	63	950	860
Ярано-Кокшагский	7,7	29	1,3	36	14	63	59	1310	960
Ярано-Немдинский	7,4	32	1,6	43	12	62	65	990	750
Юг Вятского Увала	7,8	39	2,0	55	14	64	68	930	670
Кильмезский	4,9	31	1,2	32	14	49	68	1100	720
Мари-Турекский	6,9	35	1,5	43	14	65	62	930	790
г. Киров (среднее)	16	65	1,2	96	19	95	162	700	1000
г. Киров (район ТЭЦ-4)	17	68	1,6	131	25	111	146	781	990
Кларк литосферы [175]	5,4*	28*	1,1	33*	16	51*	58*	1000	826*

* – данные (для фонового уровня) приведены по работе [74]

Для большей генерализации региона проведена классификация территорий по данным табл. 5.2. Численная таксономия выделяет округа, попарно структурно-схожие по содержанию *Pb*, *V*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Cu*, *Zn* и *P* в почвах:

1. Кластер возвышенных сильнорасчлененных водораздельных плато (Центр Вятского Увала и Мари-Турекский округа). Здесь почвообразующие породы – маломощные покровные суглинки и глины с близким подстиланием или частым выходом на поверхность элювия верхнепермских пород.

2. Кластер низменных и слабовозвышенных междуречий (Вятско-Пижемский и Вятско-Ветлужский округа).

3. Кластер слабовозвышенных грядово-полого-холмистых междуречий Ярано-Немдинского округа и возвышенных полого-увалистых междуречий округа южной части Вятского Увала.

5.3. Зоны аэрогенных выпадений элементов на лесные мхи

5.3.1. Результаты экспедиционных работ в Кировской области

Для оценки содержания следовых элементов в растениях-аккумуляторах аэрогенных поллютантов в 1992-1993гг. проведен ряд экспедиций по Кировской области. Часть проб взята вместе с пробами почв [74], в пределах тех же фаций или урочищ. Пробы взяты на удалении не менее 0,5км от шоссе и на 0,1-0,2км от проселков, с усреднением по 5-10 образцам. Основным

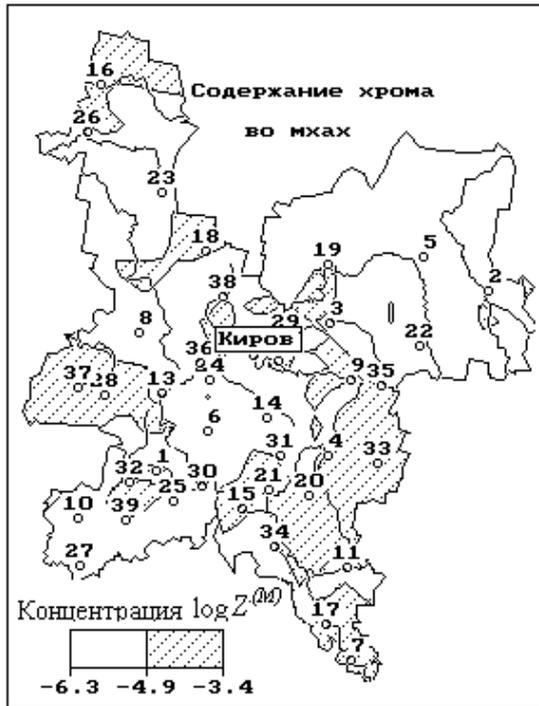


Рис. 5.5. Распределение содержания Cr в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

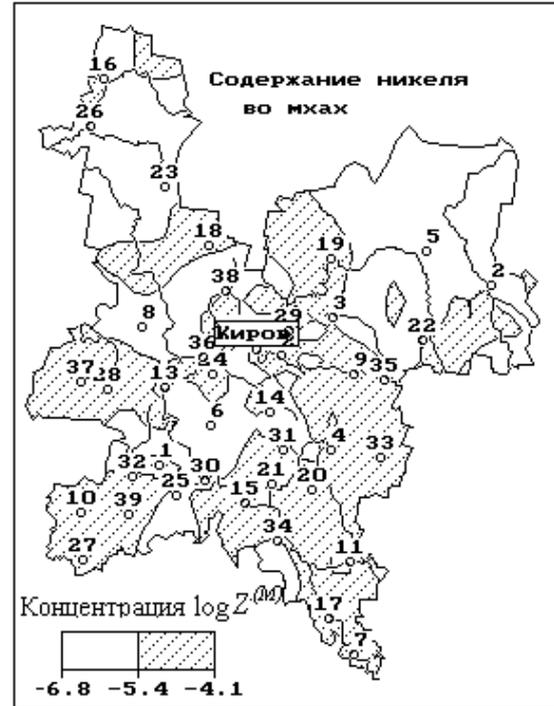


Рис. 5.6. Распределение содержания Ni в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*



Рис. 5.7. Распределение содержания V в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

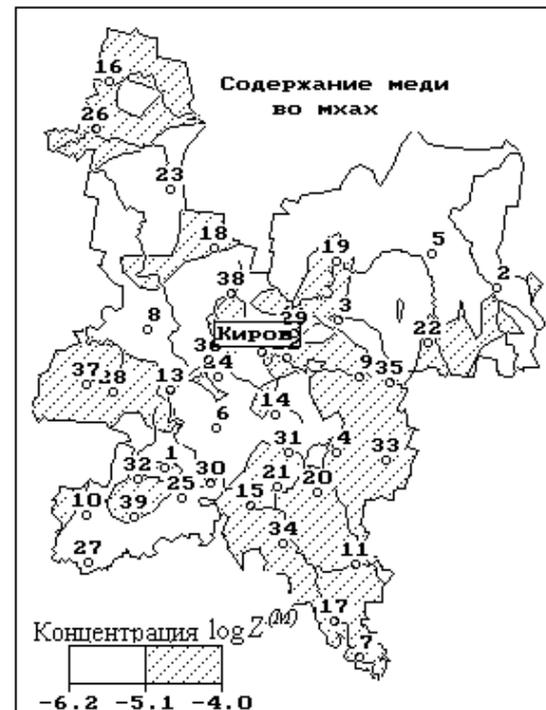


Рис. 5.8. Распределение содержания Cu в лесных мхах *Hylocomium splendens* и *Pleurozium Schreberi*

биоаккумулятором выбраны мхи *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*, с коэффициентами накопления поллютантов до двух порядков по следовым элементам, произрастающие в хвойных лесах (163 пробы). Кроме того, дополнительно проведен отбор образцов хвои сосны лесной (320 проб). В пределах тех же урочищ исследовалась структура фенотипов популяций клевера ползучего.

Камеральная обработка проб проведена методом эмиссионного спектрального анализа на спектрографе ДФС-8а. Чувствительность метода составляет: для свинца, галлия, олова, кобальта, никеля, меди - 1 г/т, молибдена - 2 г/т, хрома - 3 г/т, серебра - 0,01 г/т, цинка - 20 г/т, циркония, бора, марганца - 100 г/т, фосфора - 600 г/т. Стронций определен рентгеноспектральным анализом на приборе АРФ-6м (предел - 5 г/т).

Таблица 5.2

Средние концентрации микроэлементов в лесных мхах Кировской области

Элемент	LogNi	Элемент	LogNi	Элемент	LogNi
<i>Ba</i>	-4,24	<i>Ni</i>	-5,48	<i>Ga</i>	-6,43
<i>P</i>	-3,08	<i>Mo</i>	-6,53	<i>Ni</i>	-5,92
<i>Ti</i>	-3,62	<i>V</i>	-5,49	<i>Sn</i>	-6,63
<i>Mn</i>	-3,46	<i>Cu</i>	-5,16	<i>Zr</i>	-4,89
<i>Pb</i>	-5,37	<i>Ag</i>	-7,41	<i>B</i>	-5,54
<i>Cr</i>	-5,07	<i>Zn</i>	-4,39	<i>Sr</i>	-5,24

Содержание следовых элементов во мхах Кировской области ($N=163$) приведены в табл.5.2, а в сравнении с другими регионами в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Средние концентрации следовых элементов во мхах (мкг/кг сухой массы)

Территория	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
Гренландия	8,3	9,7	10,8	2,2	3,19	11,2	43
Исландия	4,3	18,8	8,7	1,2	5,5	19,5	3
Шпицберген	2,5	0,8	0,8	0,6	-	1,5	13
север ФРГ	36	5,2	2,6	2,2	0,34	11,6	62
Север Европы:							
а) фоновые территории	15	3,0	1,5	2,2	-	5,0	35
б) техногенные зоны	25	5,0	2,0	3,0	-	6,5	65
Север России	4,0	-	1,5	4,0	-	3,4	20
Ленинградская обл.	6,6	4,4	4,4	3,5	-	6,2	27
Кировская область	4,3	3,2	8,5	3,3	0,44	6,9	41

Сравнение данных, полученных для Кировской области (среднелогарифмических), показывает, что средние концентрации следовых элементов в тканях мхов не превышают значений в других регионах; концентрация свинца - соответствует данным по северу России (1988 г.) и несколько ниже, чем в Ленинградской области, заметно уступая фону в странах северной Европы [101, 102]. Выпадения ванадия, связанные, в основном, с теплоэнергетикой, также характеризуются более низкой концентрацией.

5.3.2. Терригенный аспект содержания микроэлементов во мхах

Для верификации мхов, как мониторов, аккумуляторов аэрогенных поллютантов необходимо выявление вклада выветриваемых почв в содержание элементов во мхах. В работе [111] для фоновых территорий (биосферных заповедников) проведены расчеты обогащения атмосферного аэрозоля и показано, что для большинства элементов определяющим является антропогенный вклад. Терригенно-обусловлены марганец и кобальт, которые мы возьмем как элементы контроля.

Таблица 5.4

Корреляции содержания металлов в пробах мхов, почв и хвои

Элементы	почва - мхи		Почва-хвоя	Коэффициенты вариации			Превышение над фоном $(Z^n)_{\kappa}/(Z^n)_{\phi}$
	R_{nm1}	R_{nm2}		R_{nx}	K_{vn}	K_{vm}		$K_{vc}$
Барий	0,01	0,16	0,05	0,74	1,18	0,39	1,28
Фосфор	0,01	0,24	0,08	0,49	0,46	0,76	-
Титан	0,11	0,13	0,05	0,53	1,12	4,15	-
Свинец	0,01	0,18	0,08	0,29	0,34	0,69	1,67
Хром	0,42	0,18	0,16	0,25	0,77	1,63	1,45
Галлий	0,21	0,05	0,08	0,23	0,97	1,97	-
Ниобий	0,04	0,11	0,02	0,62	0,85	0,67	-
Олово	0,07	0,03	0,04	0,35	0,75	1,38	1,16
Никель	0,15	0,02	0,06	0,35	0,97	1,24	2,91
Молибден	0,4	0,18	0,03	0,40	0,58	1,30	1,86
Ванадий	0,07	0,14	0,12	0,47	0,99	2,44	-
Медь	0,14	0,01	0,13	0,30	0,65	0,85	2,32
Серебро	0,08	-	-	1,12	1,34	1,39	-
Цинк	0,06	0,11	0,11	0,81	0,52	0,68	2,71
Цирконий	-	0,10	0,01	0,26	0,54	1,27	-
Окись бора	0,04	0,04	0,01	0,58	0,72	0,65	1,18
Уран	-	-	-	0,55	-	0,33	-
Торий	-	0,03	0,11	0,43	0,47	-	-
Стронций	0,14	-	-	0,59	0,15	0,25	1,14
<i>Контрольные элементы (терригенно-обусловленные в аэрозоле) [111]</i>							
Марганец	0,08	0,11	0,02	0,30	0,46	0,45	-
Кобальт	0,2	0,03	0,25	0,33	0,96	1,65	2,78

Оценки возможной терригенной обусловленности содержания Pb, V, Cr, Ni, Co, Cu, Zn во мхах, проводились в двух моделях.

1. Модель «дальнего переноса терригенных частиц». Территория области разделена на 41 площадку S_k , для которых бутстреп - методом рассчитаны средние $\ln N_k^m$ во мхах (для уменьшения смещения выборок). Из значений статистического рельефа поля концентраций $Z^n(x,y)$ в почве для тех же площадок

S_k получена выборка обобщенным интерполятором Гаусса $f_G^\circ(x,y)$. Для верификации гипотезы "дальнего переноса" рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона $R_{\text{пм1}}$ для выборок содержания металлов Z_n^m и Z_n^n (табл.5.4).

2. Модель «выпадениям терригенных частиц от ближних источников». Взяты результаты для концентраций элементов во мхах Z_n^m и почвах Z_n^n , в пределах одних урочищ (число парных проб $k = 41$). Их сравнение дает коэффициенты корреляции $R_{\text{лм2}}$, приведенные в табл.5.4, причем значимых (на уровне 0,05) корреляций нет (за исключением пары почва - мхи для хрома).

Корреляция элементов в почве и растениях обычна при их высоких концентрациях [107]. Однако, при их кларковых уровнях в почвах Кировской области [74], по обеим моделям результаты табл.5.4 свидетельствуют, что для всех Z_n^m , даже таких терригенных как марганец и кобальт, отсутствует влияние химизма субстрата на содержание элементов в лесных мхах.

Аналогичные расчеты для пары почва - хвоя сосны (см. табл.5.4) не обнаруживают значимых (на уровне 0,05) корреляций для Кировской области.

5.3.3. Зонирование региона по выпадениям на мхи

Одной из задач главы является типизация региона – установление структурно-однородных территорий выпадений элементов на лесные мхи. Согласно работе [112] тяжелые металлы по техногенным выбросам в Европе составляют ряд (тыс. т/год): Pb (120), Zn (80), V (35), Ni (18), Cu (15), Co (5), однако с учетом их запаса в литосфере, характера источников эмиссии, физико-химических свойств, их концентрации имеют заметные региональные различия.

На рис. 5.2 – 5.8 приведены картосхемы полей концентраций в двух градациях $Z_n^n(x,y)$ выпадений на мхи для семи тяжелых металлов ($Pb, Zn, V, Cu, Ni, Co, Cr$), построенные с помощью интерполятора $f_G^\circ(x,y)$. Для этих элементов отмечается характерная закономерность - наличие западной (один - два очага) и мозаичной центрально-юго-восточной зон выпадений на мхи. Высокий вес ($P_{G(1)} = 81,2\%$) главного фактора $G^{(1)}(Z_n^m)$ векторов ($M=0, \sigma=1$) логарифмов концентраций Z_n^m , прямо указывает на географическую коррелированность очагов выпадений и, по-видимому, на их единые причины. На картограмме $G^{(1)}(Z_n^m)$ (рис.5.9) проявляются два очага на 3-м уровне шкалы во мхах восточных и центральных районов и очаг на западе области.

Оценка выпадений аэрозоля на моховой покров за вычетом вклада терригенных источников проведена для 7 металлов ($Pb, V, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Zn$) в системе из 7 регрессионных моделей вида:

$$Y[Z_n^m]^{(h)} = \{Z_n^{(h)}, a^{(h)}\} + \xi^{(h)}, \quad h \in (1;7),$$

где $Y(Z_{jjk}^{(h)})$ - функция желательности Харрингтона [113] для h -металла пары почва-мох $Y = \exp[-\exp(Z_n^m)/\beta^{(h)}]$; параметр модели $\beta^{(h)}$ выбран в численном решении задачи максимизации парной корреляции векторов $Y(Z_{jjk}^{(h)})$ и Z_n^n .

Первый главный фактор $G^{(1)}[\xi^{(h)}]$ векторов невязки системы семи моделей $\xi^{(h)}$, имеет вес $P_{G(1)} = 68\%$, при высокой однородности компонентных нагрузок (для Pb - 0,30, для V - 0,41; Cr - 0,37; Ni - 0,40; Co - 0,33; Cu - 0,37; Zn - 0,30; Mo - 0,35). На картограмме $G^{(1)}(Z_n^m)$ (рис. 5.10) проявляются очаги загрязнений

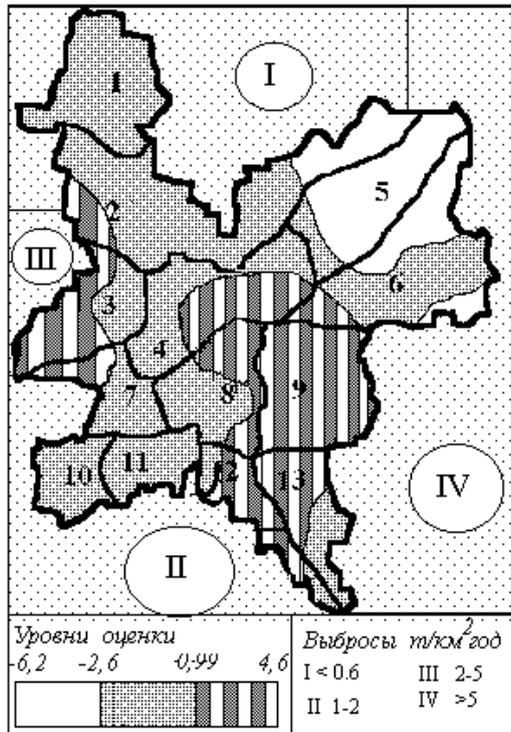


Рис. 5.9. Уровни выпадений на мхи 7 элементов по комплексной оценке $Y[Z_n^m]^{(k)}$ (81% дисперсии). Приведены выбросы твердых частиц в соседних регионах

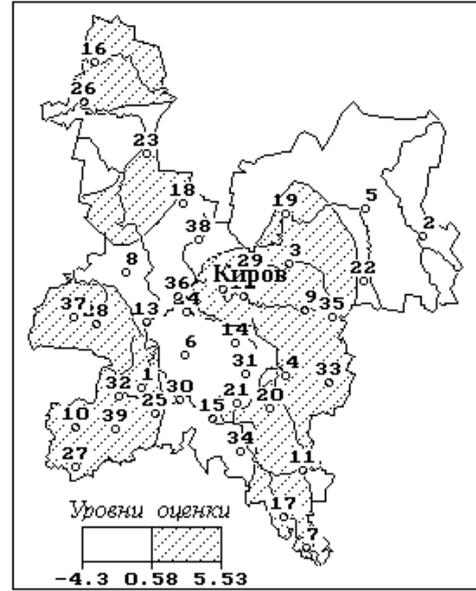


Рис.5.10. Уровни содержания во мхах 7 тяжелых металлов (первая главная компонента 7 векторов невязки регрессионных моделей вида "мох - почва")

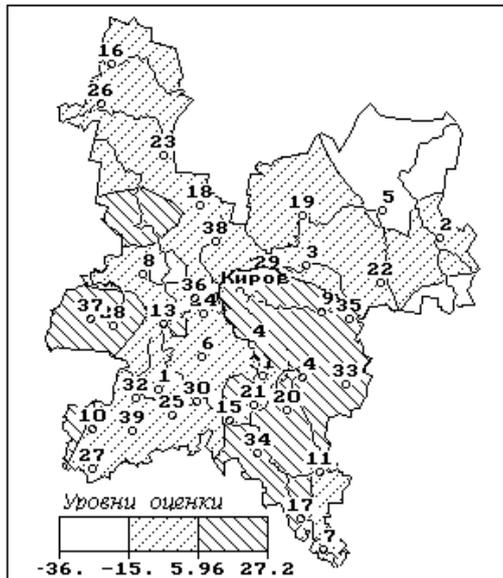


Рис. 5.11. Взвешенная по надфоновым превышениям оценка выпадений на мхи 7 тяжелых металлов.

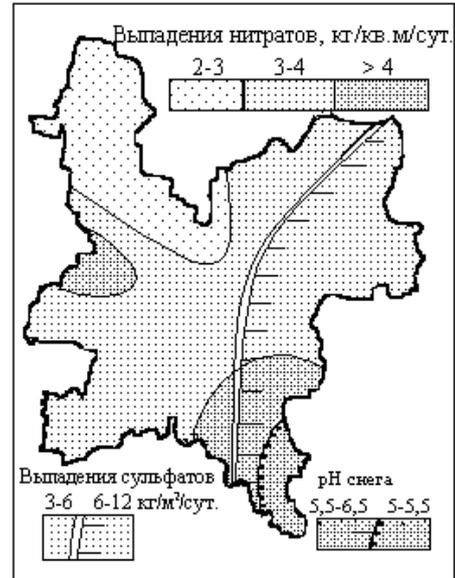


Рис. 5.12. Выпадения на снеговой покров (данные фонового мониторинга, 1988г.)

мхов - восточно-центральных районов и запада области. Первые, по-видимому, определяются выпадениями поллютантов промзон г. Кирова и Урала, а вторые трансграничным переносом от центра России, что качественно соответствует выбросам аэрозоля по регионам, согласно обзора [114].

5.3.4. Комплексная оценка выпадений на мхи тяжелых металлов

В общем случае комплексная оценка выпадений на мхи h - следовых элементов задается в виде $Y [Z^M_n] = \{Z^M, B\}$, где B - априорный весовой вектор.

Сравнение почв естественных ландшафтов области и г.Кирова показывает (до 2-3 раз) возрастание концентрации основных технофильных металлов в городских почвах - свинца, никеля, меди, цинка, ванадия, кобальта. Загрязнение почв городов тяжелыми металлами является результатом того, что эти почвы в течение длительного времени подвергаются совокупному воздействию транспортных, промышленных, рекреационных и других источников загрязнения. Поскольку концентрации микроэлементов в почвах естественных ландшафтов $(Z^n)_\phi$ ниже, чем в урбаноземах г.Кирова $(Z^n)_k$ (табл. 5.4), то, в предположении аэрогенной обусловленности, можно взять превышения за весовой вектор (с нормировкой всех h - элементов на сигма). Тогда комплексная оценка выпадений на мхи имеет вид: $Y [Z^M_n] = \{Z^M, [(Z^n)_k / (Z^n)_\phi]_h\}$. В табл. 5.4 приведены наиболее заметные превышения средних концентраций в почвах г. Кирова над среднеобластными для ряда элементов.

Результат расчета выпадений с весами $[(Z^n)_k / (Z^n)_\phi]_h$ по данным, усредненным по 41 точке для тех же семи металлов, приведен на рис.5.11. Отметим, что очаги выпадений качественно близки к приведенным на картограмме $G^{(1)}(Z^M_n)$ (на рис.5.9) – это восточно-центральные районы и западная часть области, определяемые эмиссией от промышленных территорий - г. Кирова, Урала, и центра России. Отметим качественное соответствие очагов $G^{(1)}(Z^M_n)$ зонам интенсивности выпадений на снег сульфатной серы и нитратного азота [115] на территории страны (рис. 5.12).

5.3.5. Биоаккумуляция следовых элементов в хвое сосны

В качестве маркера аккумулирующего поллютанты испытывалась хвоя *Pinus Silvestris*. Значения концентрации следовых элементов для сухой массы хвои в Кировской области (320 проб), представлены в табл.5.5.

Отметим, что аналогично результатам работы [116] для фоновых территорий, концентрации Z^x в хвое элементов в среднем на порядок ниже, чем во мхах. Кроме того, по сравнению с Ленинградской областью [117] (120 проб) концентрации элементов в Кировской области в несколько раз ниже (кроме хрома и титана), и значительно ниже данных для лесов в окрестностях Карабашского металлургического комбината Челябинской области [106], где верхние пределы Z^x соответствуют сильно деградированным сосновым ценозам в импактной зоне территории.

Таблица 5.5

Содержание тяжелых металлов в хвое сосны (мкг/кг)

Элемент	Кировская область		Ленинградская обл.		Челябинская обл. (зона металлургического комбината)
	Среднее	Сигма	Среднее	Сигма	
Титан	8,00	1,81	4,30	1,95	-
Свинец	0,33	1,76	1,30	2,10	0,36 – 3,2
Хром	0,63	2,61	0,46	2,06	(< 2,8) – 6,8
Олово	0,03	1,59	0,09	2,01	-
Никель	0,60	2,23	1,00	1,87	(< 0,65) – 1,7
Молибден	0,06	1,53	0,14	1,65	(< 0,06) – 0,77
Ванадий	0,26	1,23	0,65	2,03	-
Медь	1,20	1,71	3,10	1,86	(<0,6) – 4,8
Цинк	5,50	1,72	15,5	1,99	3,4 – 14
Кобальт	0,04	1,84	0,12	2,31	-

5.3.6. Комплексные оценки-маркеры для зонирования региона

В задачах РГСЭМ необходимы оценки территорий по обобщенным показателям, максимально вбирающим дисперсию группы исходных векторов. Рассмотрена группа из пяти металлов: **Pb, Cr, Ni, V, Cu**, описываемых векторами первых главных факторов $\{G^{(1)}(X)\}_n$ для трех сред - почв, хвои сосны и мхов ($n = 1,2,3$). В табл. 5.6 приведены три первые главные компоненты содержания **Pb, Cr, Ni, V, Cu** в этих средах. Во всех компонентные нагрузки пяти металлов по $\{G^{(1)}(X_n)\}_p$ равномерно представляют их в этом обобщенном показателе.

Таблица 5.6

Металлы (**Pb, Cr, Ni, V, Cu**) с максимальными весами первых главных компонент $G^{(1)}(X_n)$ содержания в почве, хвое сосны и мхах

Природный объект	Компонентные нагрузки по тяжелым металлам					Веса первых главных компонент $G^{(1)}(X_n)_p$
	Pb	Cr	Ni	V	Cu	
Почва $\{G^{(1)}(X_n)\}_1$	0,38	0,44	0,46	0,48	0,46	0,741
Хвоя сосны $\{G^{(1)}(X_n)\}_2$	0,42	0,46	0,44	0,42	0,46	0,721
Мхи $\{G^{(1)}(X_n)\}_3$	0,42	0,44	0,45	0,45	0,44	0,877

В ряде исследований определяют связи концентраций n_j загрязняющих веществ и расстоянием R_j до источника эмиссии. В работе [118] они описываются экспоненциальной функцией, причем коэффициенты корреляции между R_j и $\ln n_j$ (для **Ni** и **Cu**) достигают 0,95–0,98. Концентрации отдельных загрязнителей тесно коррелированы. Так, коэффициент корреляции между n_j (**Cd, Ni, Cu, Zn**) в снеге равен 0,8–0,9 [119]; в почве 0,90–0,99 (**Cu, Ni, Fe**) [118].

Для оценки обусловленности содержания элементов в почвах за счет выпадений от промышленных источников по данным 69 почвенным интерполяци-

онным площадкам S_j , сделан расчет концентраций техногенных металлов во мхах - хрома, меди, никеля, ванадия и цинка, образующих кластер металлов $W_{11}(Z^n)$, по которому для кластера территорий $U_{63}(S_{jm})$ есть некоторое превышение концентраций над среднеобластными - "провинция" (табл.5.7). Для всех техногенных металлов кластера $W_{11}(Z^n)$ наибольшие средние концентрации присущи кластеру $U_{57}(S_{jm})$ - южная и крайняя северо-западная часть области, с превышением в 1,5-2 раза над уровнями кластера $U_{63}(S_{jm})$, принятого за региональный фон аэрогенных выпадений. Референтный кластер $U_{63}(S_{jm})$, с наименьшими значениями концентраций территориально соответствует северу Кировской области. Центральные районы региона - кластер $U_{65}(S_{jm})$ с превышением в 1,2-1,5 раза занимают промежуточное положение, что, тем самым, указывает на градиентный характер (с севера на юг) аэрогенных выпадений металлов на лесные мхи.

Таблица 5.7

Классификация территорий Кировской области по относительным уровням выпадений элементов на лесные мхи (мкг/кг)

Тяжелые Металлы	Территориальные кластеры региона		
	Региональный фон $U_{63}(S_{jm})$	Зона средних уровней $U_{65}(S_{jm})$	Зона высоких уровней выпадений $U_{57}(S_{jm})$
Хром	1	1,25	2,0
Медь	1	1,2	1,67
Никель	1	1,5	1,95
Ванадий	1	1,4	1,5

Несмотря на меньшие относительные концентрации следовых элементов в хвое сосны по сравнению со мхами, сосна как универсальный биоиндикатор аэрогенного загрязнения требует аналогичной процедуры. Расчеты показывают, что кроме цинка и хрома (максимум для $U_{63}(S_{jm})$) для всех техногенных металлов кластера $W_{11}(Z^n)$ таксоны территорий плохо выделяемы.

Сравнение коэффициентов вариации логарифмов концентрации $\ln N$ металлов в трех депонирующих природных средах: почвах - K_{vm} (средний 0,47), во мхах K_{vm} (0,75) и в хвое K_{vc} (1,25) представлены в табл. 5.4 Для мхов и хвои рост средних K_v , отражает удаление распределений $\ln N$ от нормального от почв к сосне. Проведенный анализ сходства $\ln N_{nj}$ в пространстве векторов K_{vm} , K_{vm} , K_{vc} (метрика Махаланобиса) выделяет группу элементов с данной тенденцией: P , Pb , Mo , Zr , Mn , Cu , Cr , Sn , Ga , Co и Ni (из-за соотношения чувствительности мониторов к средовым факторам и роста вклада "шума", обусловленного методом эмиссионной спектроскопии, при малой концентрации, работающего на пределе обнаружения).

5.4. Контроль выпадений тяжелых металлов в задачах РГСЭМ

Мониторинг выбросов промышленного центра региона - промышленных объектов гг. Кирова и Кирово-Чепецка, а также контроль трансграничных вы-

падения требует оценок концентраций элементов в депонирующих средах – почвах (горизонты А), мхах и хвое импактной зоны и территорий ОП. Для сравнений концентраций элементов необходимо установление площадей импактных зон, что требует выбора моделей полей выпадений аэрозоля, задания метеопараметров и проведения соответствующих расчетов. В задаче РГСЭМ – оценке регионального фона Кировской области и выпадениях в импактной зоне промышленного центра области взяты следующие площади ОП, для которых проведен расчет средних концентраций: "Кайский" (Былина) – 1800 кв.км, "Тулашор" – 3500, "Нургуш" – 2500, "Атары" – 1400.

1. Почвы. Ниже для проведения РГСЭМ в табл 5.8 даны фоновые значения средних концентраций элементов на биогеохимическом барьере почв, а в табл. 5.9 данные, усредненные по всем полигонам (N=270 точек).

Таблица 5.8

Средние концентрации элементов в почвах опорных полигонов РГСЭМ

"АТАРЫ"											
Микроэлементы (мкг/кг)											
Элемент	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	320	930	10400	1700	19	151	19	21	3,9	83	2,7
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	107	51,7	0,36	95	31	13	17	1,9	4	300	
"ТУЛАШОР"											
Микроэлементы (мкг/кг)											
Элемент	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	290	1400	8020	2700	15	86	13	16	2,6	58	3,2
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	83	32	0,28	87	17	12	14	1,5	2,7	200	
"БЫЛИНА"											
Микроэлементы (мкг/кг)											
Элемент	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	340	1200	9700	10000	15	95	12	11	2,8	47	1,6
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	51	31	0,1	60	22	7,2	11	1,9	3,5	380	
«НУРГУШ»											
Микроэлементы (мкг/кг)											
Элемент	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	311	760	6710	6480	12	90	7,4	10	2,4	30	1,1
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	50	25	0,1	50	20	4,1	11	1,4	1,6	90	

Таблица 5.9

Средние фоновые концентрации элементов в почвах всех ОП (270 точек)

	Микроэлементы (мкг/кг)										
Элемент	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	321	1100	8280	13200	15	110	12	12	2,9	51	2,0
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th		
Среднее	65	37	0,1	70	20	8,4	12	2,1	3,5		

2. Хвоя сосны. В табл 5.10 для проведения РГСЭМ даны фоновые значения средних концентраций элементов в хвое, усредненные по каждому ОП.

Таблица 5.10

Средние фоновые концентрации элементов в хвое сосны лесной на ОП

Опорные полигоны	Микроэлементы в хвое сосны (мкг/кг)										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
"Былина"	17	130	8,5	1800	0,3	0,5	0,03	0,3	0,03	0,5	0,05
"Нургуш"	20	140	10	3600	0,4	1,1	0,04	0,4	0,04	1,1	0,08
"Атары"	20	310	23	2800	1,0	1,5	0,06	0,4	0,07	1,2	0,10
"Тулашор"	22	160	6	3870	0,4	0,9	0,03	0,2	0,03	0,4	0,06
	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
"Былина"	0,2	0,9	0,02	4,3	1,5	0,03	0,3	1,5	1	250	
"Нургуш"	0,4	1,6	0,01	5,9	2,6	0,06	0,3	2,2	1	170	
"Атары"	0,8	1,9	0,06	7,7	0	0,15	0,3	2,3	1	340	
"Тулашор"	0,3	1,1	0,04	6,6	0	0,05	0,3	1,8	1	670	

3. Лесные мхи.. Ниже в табл. 5.11 даны значения средних концентраций (выпадения элементов по всем четырем ОП) элементов во мхах.

Таблица 5.11

Средние по всем опорным полигонам концентрации элементов во мхах

	Микроэлементы										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	39	610	210	2900	3,9	7,6	0,35	0,9	0,25	2,4	0,22
	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	2,1	5,3	0,1	41	11	0,3	0,4	2	2	1700	

Сравнение средних концентраций на ОП и в импактной зоне

Задача сравнения средних концентраций элементов в почвах (горизонты А), и выпадений во мхах и хвое на территориях опорных полигонов и в импактной зоне городской агломерации требует оценки размеров последней на некотором априорно задаваемом уровне μ . Для расчетов зоны в масштабах региона

площадные источники аппроксимируются системой пяти точечных, со значениями выбросов твердых частиц в год по 4-м районам г.Кирова и г. Кирово-Чепецка (данные взяты из работы [120]). Расчет полей средних выпадений $Z''(x,y)$ на почву проведен при помощи программы Н.Б.Сенилова CSOIL (НПО "Тайфун" г.Обнинск) по модели Н.Л.Бызовой [121]). Задание метеопараметров проведено согласно [122], с учетом розы ветров и среднего количества осадков по 8-румбам от г.Кирова. Средняя скорость ветра взята 4 м\сек, среднее количество осадков – 589 мм/год, эффективная высота источников - 150м, шероховатость поверхности - 5м, высота флюгера – 10 м, время осреднения выпадений - 1 год, плотность аэрозольных частиц - 1000 кг/м³.

Для учета сухого осаждения отдельно рассчитаны k -парциальных полей $E(r)_k$ аэрозольных фракций размерами: 0-1, 1-2, 2-4, 4-10, 10-20, 20-40, 40-50, 50-60 мкм. Суммарное поле выпадений взято в виде: $E(r) = \sum \phi(V_a) E(r)_k$, с весами в соответствии с усредненной функцией объемного распределения частиц $\phi(V_a)$, согласно К.Т.Уитби [171] (рис.5.13).

Расчетный уровень $\mu = 0,33$ от максимума $E(r)$, приведенный на рис.5.14, принят как искомая граница зоны полей выпадений $E(r)$. Для сравнения на рис. 5.15 приводится поле загрязнений снегового покрова по данным космической съемки (ИСЗ «Метеор-природа») [65], где проявляются наложения на центральную зону (выпадения поллютантов г.Кирова и г.Кирово-Чепецка) и других источников (г. Слободской, пп.Оричи, Стрижи).

Используя уровень $\mu = 0,33E(r)$ как границу зоны, определены точки пробоотбора в трех природных средах, депонирующих выпадения и, тем самым, площадь импактной зоны. Средние значения содержания элементов в данной импактной зоне приведены в табл.5.12.

Таблица 5.12

Средние концентрации элементов в почвах зоны вокруг г. Кирова

Элемент	Микроэлементы (мкг/кг)										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	280	1000	7600	9960	20	130	10	11	2,6	58	2,8
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	63	36	1	84	160	7,4	3,3	1,5	2	100	

Имеющиеся превышения для зоны около г. Кирова сравнению с территориями ОП значимы по критерию Стьюдента для трех элементов: Pb ($t = 2,6$), Mo ($t = 3,5$), Sr ($t = 2,7$).

Аналогично, для хвои сосны лесной и мхов характеристики содержания элементов в данной импактной зоне приведены в табл.5.13. и 5.14.

Сравнение пригородной зоны с опорными полигонами дает согласно критерию Стьюдента следующие значимые превышения:

- для **хвои сосны** нет значимой разницы в концентрациях элементов для зоны около г.Кирова и на территориях опорных полигонов;
- для **лесных мхов** значимые превышения для $Ba, P, Ti, Mn, Pb, Cr, Ga, Nb, Sn, Ni, Mo, V, Cu, Ag, Zn, Zr, Co, B_2O_3, U$ ($t > 2$).

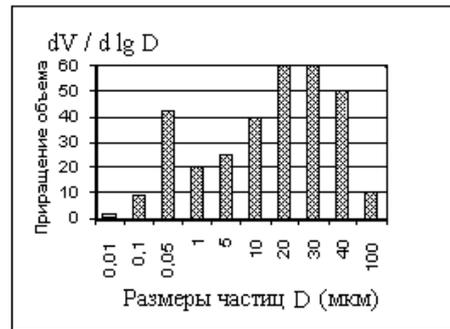


Рис. 5.13. Объемное распределение дисперсной фазы аэрозоля $dV/d \lg D$ над городами в зависимости от размеров D (средние данные по К.Т. Whitby)



Рис. 5.14. Зоны выпадений на поверхность твердых частиц, эмиттируемых агломерацией гг. Кирова и Кирово-Чепецка (расчет по модели Н.Л. Бызовой)



Рис. 5.15. Зоны загрязнения снегового покрова по данным космосъемки (программа "Метеор-природа")

Таблица 5.13

Концентрации элементов в хвое сосны лесной в зоне вокруг г. Кирова

	Микроэлементы (мкг/кг)										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	20	150	20	2750	0,5	1,4	0,05	0,3	0,04	1	0,1
	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	0,5	1,6	0,03	8,5	1,6	0,07	0,3	2	1	1600	

Таблица 5.14

Концентрации элементов во мхах в зоне вокруг г. Кирова

	Микроэлементы (мкг/кг)										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	97	1530	610	4240	7	11	1,1	2	0,5	5,8	0,4
	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	5,8	11	0,2	76	21	1,1	2,8	4,3	2	1740	

Отсутствие априорной информации о виде функций распределения исходных данных требует применения методов снижения выборочного смещения оценок средних, таких как расчет по методу "складного ножа" Кенуя-Тьюки или бутстреп-методов Эфрона. Нами проводились расчеты бутстреп-средних выборок концентраций для 21 экзогенного элемента в лесных мхах (использованы объемы – 1000 бутстреп-подвыборок, 100000 наблюдений). Полученные результаты для территорий ОП Кировской области приведены в табл. 5.15.

Таблица 5.15

Бутстреп - оценки концентраций элементов во мхах на всех ОП

Элемент	Микроэлементы (мкг/кг)										
	Ba	P	Ti	Mn	Pb	Cr	Ga	Nb	Sn	Ni	Mo
Среднее	42	610	210	2900	3,86	7,6	0,35	0,9	0,25	2,4	0,22
Элемент	V	Cu	Ag	Zn	Zr	Co	B	U	Th	Sr	
Среднее	2	5,3	0,1	41	11	0,3	0,4	2,3	2	1700	

В табл. 5.16 для зоны агломерации гг. Кирова и Кирово-Чепецка приведены бутстреп-оценки средних, мод, медиан, а также доверительных интервалов для семи важнейших техногенных компонентов выбросов химических веществ. Согласно табл. 5.16, отметим (на уровне значимости 0,05) достоверное отсутствие перекрытия интервалов концентраций элементов, выпадающих на лесные мхи в импактной зоне и на территориях опорных полигонов РГСЭМ. Данный вывод позволяет выдвинуть два вида мхов – *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*, как мониторы РГСЭМ, контролирующие выпадения тяжелых металлов, эмиттируемых промышленными центрами региона.

Таблица 5.16

Средние концентрации следовых элементов во мхах (мкг/кг сухой массы)

Территория	Pb	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn
Зона городской агломерации							
Среднее значение	7,05	5,7	10,6	2,7	1,2	10,8	76
Бутстреп –оценки: среднее	6,6	3,7	7,6	3,9	0,63	8,1	60
медиана	6,6	3,7	7,6	3,9	0,63	8,1	60
Мода	6,7	3,6	7,0	3,4	0,56	8,1	49
Бутстреп-оценки	5,0	2,8	5,9	2,7	0,39	5,8	34
Интервалов (уровень 0,05)	8,5	5,2	10,4	5,5	1,15	12,1	98
Опорные полигоны РГСЭМ							
среднее значение	3,9	2,1	7,5	2,3	0,31	5,3	41
Бутстреп -оценки: среднее	3,6	1,7	4,9	1,7	0,20	4,3	35
медиана	3,6	1,6	4,9	1,7	0,19	4,3	35
Мода	3,5	1,5	5,5	1,7	0,15	3,6	37
Бутстреп-оценки интервалов	2,8	1,1	2,8	1,1	0,12	2,7	25
(уровень 0,05)	4,6	2,5	8,8	2,8	0,35	6,5	50

Итак, сравнение пригородной зоны с опорными полигонами дает согласно критерию Стьюдента следующие значимые превышения:

- *по почвам* для: *Pb* ($t = 2,6$), *Mo* ($t = 3,5$), *Sr* ($t = 2,7$);

- *по хвое* сосны нет значимых (0,95) превышений;

- *по мхам* значимые превышения для *Ba*, *P*, *Ti*, *Mn*, *Pb*, *Cr*, *Ga*, *Nb*, *Sn*, *Ni*, *Mo*, *V*, *Cu*, *Ag*, *Zn*, *Zr*, *Co*, *B₂O₃*, *U* (сравнение бутстреп-доверительных интервалов по критерию Стьюдента для $t > 2$).

* * *

Таким образом, по 19 элементам: *Ba*, *P*, *Ti*, *Mn*, *Pb*, *Cr*, *Ga*, *Nb*, *Sn*, *Ni*, *Mo*, *V*, *Cu*, *Ag*, *Zn*, *Zr*, *Co*, *B₂O₃*, *U* в техногенной зоне центра региона - промышленных объектов гг. Кирова и Кирово-Чепецка проявляется роль антропогенного загрязнения по отношению к их поступлению в природном комплексе - на полигонах регионального фона. Для организации мониторинга атмосферных выпадений аэрозоля, содержащего тяжелые металлы из всех трех аккумулирующих сред – почвы (горизонты *A*), хвоя сосны и лесные мхи (*Pleurozium Srebery* и *Gilocomium splendens*), последние наиболее перспективны как мониторы РГСЭМ. Хвоя сосны для всех техногенных металлов (кроме, возможно, цинка и хрома) не подходит на роль регионального монитора аэрогенных выпадений из-за низкой чувствительности метода эмиссионной спектроскопии.

Результаты расчета выпадений *Pb*, *V*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Cu*, *Zn*, *Mo* в комплексных оценках на лесные мхи отмечают единую причину осаждения поллютантов в восточно-центральных и западных районах области, определяемого эмиссией от промышленных территорий - г. Кирова, Урала, и центра России. Эта типология совпадает с зонами выпадений сульфатов и нитратов азота на территории страны, что указывает, по видимому, на сжигание органического топлива, как основной фактор фонового загрязнения региона.

ГЛАВА 6. ОБЩЕСТВЕННЫЕ ФОРМЫ МОНИТОРИНГА РЕГИОНА

Согласно концепции РГСЭМ в регионе организуется система "дополнительного экологического мониторинга". Основной целью дополнительного экологического мониторинга является обеспечение контроля территорий на локальном уровне, учета показателей, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений, и получения оценок в разрезах разных типологий. Система "дополнительного экологического мониторинга" включает:

1. Научные и образовательные учреждения, проводящие регулярные экологические, медицинские и смежные с ними обследования.

2. Сеть наблюдений системы общественного мониторинга, объединяющая добровольных наблюдателей. Сбор и анализ данных проводится в соответствии с природоохранными задачами муниципальной программы мониторинга.

3. Сеть биодиагностики природных сред и биоты через систему учреждений образования. Она организуется департаментом образования, совместно с комитетом по охране природы и при научной руководстве педагогического вуза региона. Сбор данных проводится по единой региональной программе.

Данная задача социально обусловлена не только для обеспечения контроля территорий, но и в плане экологического воспитания населения, и нами только обозначена. Ее решение достаточно наукоемко и требует в каждом регионе тщательной проработки. Мы остановимся только на некоторых аспектах общественных форм мониторинга региона

6.1. Научные и образовательные учреждения в системе РГСЭМ

Разработка мониторинга региона полагает создание общего подхода, базирующегося на оценке современного состояния территории и ее экосистем. Так в Кировской области действуют научные направления, изучающие природные среды и объекты региона, такие как, альгологическая школа Э.А.Штиной, школа почвоведов С.Л.Щеклеина – В.В.Тюлина. Ряд систем мониторинга апробируют НИИ гематологии и переливания крови (КНИИГиПК), ВНИИОЗ и вузы. Так в частности, Кировским медицинским институтом (КГМИ) и Вятским государственным педуниверситетом (ВГПУ) проводится выборочный контроль физического развития детей и репродуктивного здоровья девушек [32].

Однако, в настоящее время сложилась ситуация, характеризующаяся взаимной изолированностью задач исследований и отсутствием информационной поддержки ресурсами сетей наблюдений областных ведомств, особенно природоохранного, природоресурсного и социально-экономического направления. Это, естественно, не может не сказаться и на самих исследованиях, делающих крен в сторону решения более фундаментальных задач. Поэтому, для обеспечения должного научного уровня РГСЭМ необходимо вовлечение в ее систему НИИ и вузов. Интеграция в системе РГСЭМ обследований, проводящихся в русле научных интересов сложившихся исследовательских школ региона, должна проводиться через соответствующие сетевые

конференции.. Основная цель обмена информационными ресурсами в них – осуществление консультационной, тьютерной и экспертно-аналитической поддержки РГСЭМ.

Мониторинг по изучению физического развития детей (КГМИ)

Одним из показателей состояния здоровья подрастающего поколения считается физическое развитие, на которое влияет все многообразие факторов окружающей среды и которое является интегральным показателем ее качества при доступности получения информации и низких затратах на исследования.

В КГМИ создана информационная система изучения физического развития детей в связи с воздействием факторов окружающей среды. Главной задачей системы является сбор и анализ данных о степени загрязненности атмосферного воздуха и физическом развитии детей. Система включает блоки "Окружающая среда" (городская среда, качество атмосферного воздуха) и "Детское население" (биологический статус, физическое развитие). Для оценки городской среды выбрано содержание вредных веществ в атмосфере. Физическое развитие детей характеризуют соматометрическими признаками (длина и масса тела, окружность грудной клетки) и гармоничностью. Выходные документы для органов управления поступают в виде заключения о влиянии загрязнителей на здоровье детского населения с рекомендациями по их устранению или уменьшению.

Мониторинг частоты железодефицитных состояний (КНИИГ и ПК)

Дефицит железа (ДЖ) является одним из наиболее распространенных патологических состояний, приводя к последующим морфологическим и функциональным изменениям в эпителиальных и эндотелиальных тканях, повышению их ранимости, нарушению ферментативных реакций, тканевого дыхания. Дефицит железа может быть латентным - ЛДЖ, или в манифестной форме - ЖДА. Определение запасов железа - один из наиболее точных и надежных методов выявления и оценки распространенности ДЖ в популяциях, где ЖДА встречается сравнительно редко. В КНИИГ и ПК [174] разработаны методы выявления ДЖ; выявлен сывороточный ферритин, как наиболее информативный показатель запасного фонда железа в организме, запасы железа менее 300 мг соответствуют прелатентному дефициту.

Установлено для Кировской области, что 57,3% матерей имеют железодефицитные состояния; у 40,5% отцов установлен прелатентный дефицит железа; у детей в возрасте до 1 года распространенность ЖДС достигала 92%, от 1 до 3 лет - 93% и от 4 до 14 лет - 50%. У юношей призывного возраста нормальные показатели характерны лишь для 62%, у 18% из них обнаружен ЛДЖ; у 19% найдены повышенные показатели сывороточного железа, характеризующая тенденцию к гемосидерозу. Наравне с недоношенностью, нарушениями питания значимы социально-экономические, общесемейные и генетические факторы и недостаточное пренатальное депонирование железа.

Мониторинг заболеваемости гемобластозами (КНИИГ и ПК)

В г. Кирове КНИИГ и ПК проводится изучение распространения гемобластозов в Кировской области [174] для выявления структуры заболеваемости, изучения связи заболеваемости с полом, возрастом, с изменением природных антропогенных, социальных и демографических факторов; возрастных и половых особенностей. В структуре заболеваемости первое место занимают ХЛЛ - 29,5%, далее лимфосаркома - 21%, ХМЛ - 16,8%, острые лейкозы - 14,7%, ЛГМ 10,5%, множественная миелома - 7,7%. Отмечена большая частота заболеваемости в сельскохозяйственных районах с небольшим числом населения. Кривая заболеваемости максимальна для возрастов 65-74 года. Частота заболеваемости мужчин выше, чем женщин, однако не при всех формах. По Кировской области среднегодовая заболеваемость среди мужского населения 19,2 на 100 000; среди женского - 16,0. В г. Кирове заболеваемость мужчин 29,3 на 100 тыс. населения и женщин - 19,9 на 100 тыс. Отмечена более высокая заболеваемость лиц мужского пола ХЛЛ, ХМЛ, ЛГМ; у женщин г. Кирова чаще встречаются лимфосаркомы, множественная миелома. Острые лейкозы в г. Кирове одинаково часто встречаются у мужчин и женщин. Разработчики методик предполагают в дальнейшем выделить факторы риска (экологические, семейно-бытовые, генетические и др.), влияющие на уровень онкологической заболеваемости.

Мониторинг иммунного статуса населения (КНИИГ и ПК)

Иммунитет населения имеет региональные особенности, обусловленные различиями экологической обстановки, климатических условий, характера профессиональной деятельности и других факторов. Ухудшение экологической обстановки способствует увеличению антигенной нагрузки на организм, видоизменяет его иммунобиологическую реактивность, что может привести к появлению тех или иных форм иммунологической недостаточности, увеличению заболеваемости. Риск патологии напрямую зависит от степени загрязнения окружающей среды и изменения в состоянии иммунитета служат индикатором здоровья общества в целом под влиянием экологической обстановки.

Анализ результатов комплексного иммунологического обследования 619 детей в возрасте от 1 года до 14 лет и 303 взрослых людей, проживающих в Кировской области и областном центре, позволил констатировать наличие индивидуальных различий показателей иммунитета у здоровых лиц [174]. Поэтому, диагноз иммунодефицитного состояния может считаться правомочным при сочетании изменений в иммунограмме с соответствующими клиническими признаками, а также при динамическом исследовании иммунологических показателей. Выявлен ряд отличий в г. Кирове и Кировской области, могущих быть следствием особенностей экологической обстановки. Изменения в состоянии популяционного иммунитета населения, происшедшие за последние 5-7 лет, указывают на необходимость систематического исследования иммунного статуса людей. Очевидна и актуальность выявления

определенных критериев риска развития иммунных нарушений, которые могут иметь как экзогенное, так и эндогенное происхождение.

6.2. Мониторинг уровня репродуктивного здоровья женщин

Чувствительным к действию неблагоприятных экологических факторов является репродуктивное здоровье женщин. В рамках разработки РГСЭМ в Вятгоспедуниверситете проводится апробация системы контроля степени полового созревания и уровня репродуктивного здоровья выпускниц средних школ. Установлено, что девушки, проживающие в экологически напряженных местах (г.г. Киров, Кирово-Чепецк) чаще имеют нарушения менструального цикла, чем проживающие в сельской местности. Число лиц, имеющих те или иные нарушения репродуктивной системы, достигает 50%, что требует постоянного контроля за ходом процесса пубертата [32].

Методика обследования включает краткий сбор анамнестических данных, в т.ч. касающихся характера менструального цикла, объективной оценки развития вторичных половых признаков, анализ менограмм, определение антропометрических показателей с расчетом антропометрических индексов, троханторного индекса, построения морфограмм, определения жизненной емкости легких и показателей, отражающих развитие двигательных качеств, аэробной выносливости и гибкости.

Для установления индикаторных свойств $Y^{(p)}$ и их верификации на экзогенные факторы X_n поэтапно строились линейные численные модели вида "Факторы среды - реакция индикатора": $Y^{(p)} = \{X_n, a\} + \varepsilon^{(1)}$. В качестве отклика $Y^{(p)}$ взят показатель $Y^{(p)}$, включающий все неблагоприятные по репродуктивному здоровью группы девушек – от риска до контингентов с явными признаками патологии, а в качестве предикторов - различные наборы признаков X_n .

Роль маркеров демографических характеристик

Полагаем, что демографические характеристики населения сами являются маркерами латентных факторов воздействия на территории. В линейной субмодели вида : $Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(1)} \rangle + \varepsilon^{(1)}$, где $a^{(1)}$ - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(1)}$ - вектор невязки регрессии, в качестве системы предикторов $\{q_i(X_n), X_n\}$ использованы 12 показателей и кластеров показателей следующих признаков: общие коэффициенты брачности, общие коэффициенты разводимости (на 1000 чел.) 1985-1994гг., относительное изменение населения (в 1989-1985), процент несчастных случаев, процент самоубийств, процент хронических алкоголиков, общие коэффициенты рождаемости (на 1000 чел.), удельные веса основных возрастных групп: моложе трудоспособного (мужчины), моложе трудоспособного (женщины), старше трудоспособного возраста (мужчины) и старше трудоспособного возраста (женщины), общие коэффициенты смертности (на 1000 чел.) 1989 - 1994 гг.

Коэффициент множественной корреляции модели $R_{ji} = 0,58$. Критерий Фишера $F=1.0$ (39/25); единственный значащий коэффициент регрессии по критерию Стьюдента ($t=2,06$) - кластер, содержащий признаки: общие коэффициенты брачности, общие коэффициенты разводимости.

Воздействие маркеров промышленности на репродуктивное здоровье

Для оценки роли промышленности на индикаторный показатель рассмотрена субмодель $Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(2)} \rangle + \varepsilon^{(2)}$, где $a^{(2)}$ - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(2)}$ - вектор невязки регрессии. В качестве предикторов $\{q_i(X_n), X_n\}$ модели использованы 13 показателей промышленности и кластеры следующих признаков: индексы физического объема продукции промышленности, в 1981- 1994 гг., объем произведенных товаров народного потребления, удельный вес убыточных предприятий и организаций (1994 г), прибыль, убыток предприятий по отношению к средней стоимости основных нематериальных и оборотных средств, прибыль, убыток предприятий от реализации продукции, индексы физического объема продукции промышленности (в % к предыдущим годам), объемы капитального строительства, 1990-1994гг. Качество модели весьма низкое ($R_{yy} = 0,44$). Значимых $a^{(2)}$ по критерию Стьюдента нет ($t < 2$).

Влияние индикаторов климатических условий проживания населения

В субмодели $Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(3)} \rangle + \varepsilon^{(3)}$, где $a^{(3)}$ - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(3)}$ - вектор невязки, для оценки роли климатические показатели $X^K \in \mathbb{R}^{40}$, последние взяты в качестве предикторов (набор 11 климатических признаков по данным: эквивалентная температура июля, процент комфортной погоды, продолжительность периода с температурой ниже -10 C° , продолжительность периода с температурой $(-5, -15\text{ C}^\circ)$, продолжительность периода с температурой выше $+15\text{ C}^\circ$, уровень теплообеспеченности ($+10\text{ C}^\circ$), среднемесячная скорость ветра в январе, количество осадков, количество дней с метелью, высота снежного покрова, количество дней со снежным покровом.

Качество модели чрезвычайно низкое ($R_{yy} = 0,11$), что говорит о климатической независимости признаков $Y^{(p)}$. Значимых $a^{(3)}$ нет ($t < 2$).

Воздействие маркеров социальной среды на репродуктивное здоровье

Для оценки роли социального фактора рассмотрены 189 показателей (см. гл.4). После проведения численной таксономии, сформированные векторы (кластеры) использованы как предикторы линейной субмодели:

$Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(4)} \rangle + \varepsilon^{(4)}$, где $a^{(4)}$ - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(4)}$ - вектор невязки. В качестве $\{q_i(X_n), X_n\}$ использовались следующие кластеры:

- урожайность картофеля, урожайность зерновых (в 1990-1994гг);
- число сельских насел. пунктов (на 1.01.1990), в которых проживает население, число сельских населенных пунктов (на 1.01.1995), в которых проживает население), общее число сельских насел. пунктов (на 1.01.1995) в которых проживает население);
- жилищный фонд (кв.м общей площади/на 1-жителя) в 1990-1994гг.
- численность массовых библиотек в 1980 - 1994гг, численность клубных учреждений в 1980-1994гг, число школ (94/95 гг).
- расстояние до г.Кирова (км), процент проживающих в частных домах, доля пенсионного населения, - средний уровень благоустройства жилищного фонда на 1994 г., всего, городского, сельского.
- наиболее "емкий" кластер социальных показателей: среднемесячная зарплата работающих в экономике области (1994 г.), удельный вес основных возрастных групп в 1989-1993гг. процент проживающих в коммунальных

квартирах, наличие ванной и душа (усреднено по 6 группам зданий), плотность числа населенных пунктов/тыс.кв.км, объем платных услуг населению на 1-го жителя в 1990-1994гг., прибыль, убыток предприятий и организаций, млн. руб. в 1993-1994гг, численность занятого населения, тыс. чел. в 1993-1994 гг., объем бытовых услуг населению (руб. на 1-го жителя, 1990-1994гг.), уровень безработицы (1994г), объем продукции промышленности, млн. руб. в 1991-1994гг, население районов в 1989-1995 г., перевозки грузов автотранспортом, тыс. т (1990-1994гг), грузооборот автотранспорта в 1990-1994гг., производство мяса в 1990-1994гг., численность занятого населения в 1990-1992гг, число семей, состоящих на учете для получения жилплощади в 1993-1994г , число постоянных дошкольных учреждений в 1980-1994гг, численность детей в постоянных дошкольных учреждениях 1980-1994гг, число учащихся в 1993-1995 гг., розничный товароборот на душу населения в 1992-1994гг., среднемесячная зарплата, работающих в экономике области в 1991-1992гг., производство молока в 1990-1994гг, продуктивность скота в 1990-1994гг.

Коэффициент множественной корреляции модели 0,56 и вследствие остаточных корреляций значимых $a^{(4)}$ по критерию Стьюдента нет ($t < 2$).

Влияние индикаторов этнического состава населения.

Данная группа признаков отражает как определенные фенотипические особенности в структурах человеческих популяций Кировской области, так и определенные культурные особенности, определяющие национальные поведенческие стереотипы. Поскольку за последние десятки лет, процентные вклады людей, записывающихся при переписях русскими, возрастают, то данные показатели можно рассматривать как некие "ретроспективные маркеры" культурно-национальных особенностей территорий. В модели:

$Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(5)} \rangle + \epsilon^{(5)}$, где $a^{(5)}$ - коэффициенты регрессии, $\epsilon^{(5)}$ - вектор невязки, в качестве $\{q_i(X_n), X_n\}$ использовались 4 показателя, маркирующих этническую структуру населения: число русских (%), марийцев, татар, удмуртов, а также один кластер признаков: число украинцев и число лиц прочих национальностей (%).

Коэффициент множественной корреляции модели 0.40, значимый коэффициент регрессии на уровне 0,05 по критерию Стьюдента ($t = 2,3$) лишь для маркера "численность марийцев" (вклад $14 \pm 5\%$ в дисперсию отклика).

Вклад индикаторов медицинского обслуживания населения

В модели $Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(6)} \rangle + \epsilon^{(6)}$, где $a^{(6)}$ - коэффициенты регрессии, $\epsilon^{(6)}$ - вектор невязки, в качестве $\{q_i(X_n), X_n\}$ использованы показатели, маркирующие состояние врачебной помощи населению Кировской области - мощность поликлиник (в относительных единицах), численность лиц среднего медперсонала (%), обеспеченность больничными койками на 10000 чел. (1993-1994гг.) и обеспеченность врачами на 10000 человек в 1993-1994гг.

Качество модели чрезвычайно низкое - коэффициент множественной корреляции модели 0,240; единственный значимый ($t = 2,0$) коэффициент регрессии - "мощность поликлиник" (вклад 5% в дисперсию отклика $Y^{(p)}$).

Роль маркеров природных ("экосистемных") факторов.

Совокупное влияние биокосного, фитоценотического и климатического фактора определяет состояние биогеоценозов, которое, в свою очередь,

обуславливает условия жизни консументов всех трофических уровней, в том числе высших порядков, а также человека. Растительность, определяя структурно-функциональную организацию экосистем, отражает и экзогенный фактор Φ_e - за счет прямых воздействий и через изменение экотопов. Оценки фактора Φ_e учитывают изменения как в структуре растительности (уменьшение площади коренных ассоциаций, лесистости), так и на уровне растительных сообществ и отдельных видов (популяций). Биогеоценозы – системы, с развитой внутренней структурой связей компонентов окружающей среды, по-видимому, выступают как некоторый характерный "природный фактор", хронологическая изменчивость которого, во многом формирует фенотипические и видовые границы.

В модели $Y^{(p)} = \{X_n, a^{(7)}\} + \epsilon^{(7)}$, где $a^{(7)}$ - коэффициенты регрессии, $\epsilon^{(7)}$ - вектор невязки, в качестве $\{X_n\}$ использована матрица показателей 23-х характеристик фитоценозов. Данные X_n группируются в два кластера. Первый включает: среднетаежные леса (пихтово-еловые зеленомошные кустарничковые; еловые зеленомошные кустарничковые; еловые сфагновые и долгомошные кустарничково-травяные (влажные); южнотаежные леса (средне- и южнотаежные сосновые с елью зеленомошные и лишайниковые кустарничковые; пихтово-еловые и елово-пихтовые травяно-кустарничковые и травяные с участием неморальных трав, пойменные луга таежной зоны разного уровня в сочетании с пахотными землями и фрагментами лесов, сельскохозяйственные земли на месте среднетаежных лесов; березовые, осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов).

Второй кластер показателей включает: южнотаежные леса (еловые травяно-кустарничковые с участием неморальных трав; средне- и южнотаежные сосновые с березой, долгомошные и сфагновые кустарничковые, еловые долгомошные и сфагновые кустарничковые и травяные (влажные); подтаежные леса (пихтово-еловые сложные с липой, кленом, ильмом в подлеске, широколиственно-еловые и широколиственно-сосновые); болотную растительность (болота сфагновые сосновые кустарничковые, верховые, березово-сосновые и березовые кустарничково-осоково-сфагновые переходные бореальные, сфагновые кассандрово-морошковые грядово-мочажинные верховые, болота лесные березово-сосновые и березовые осоково-разнотравные низинные); пойменные луга таежной зоны (пойменные злаково-разнотравные луга на высоком уровне, крупнозлаковые - на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов, злаково-разнотравные на высоком уровне, крупнозлаковые - на среднем, остроосоковые - на низком, пахотные земли и фрагменты лесов); вторичные мелколиственные леса - березовые и осиново-березовые и сероольховые на месте среднетаежных темнохвойных лесов, южнотаежных темнохвойных лесов, сосновых лесов, подтаежных лесов; сельскохозяйственные земли на месте южнотаежных лесов, темнохвойных лесов, сосновых лесов, подтаежных лесов.

Коэффициент множественной корреляции модели 0,74; значимых $a^{(7)}$ нет вследствие остаточных корреляций ($t < 2$). Можно отметить, что роль данного

фактора X_n в других моделях (обусловленности численности фаунистических видов в Кировской области) является определяющей.

Роль индикаторов антропогенных воздействий.

Для выявления роли хозяйственной деятельности на репродуктивное здоровье проведено численное моделирование по 12- параметрам и кластерам $q(X_n^a) \in \mathbb{R}^{40}$, маркирующим антропогенные воздействия на территории Кировской области. Использована линейная модель $Y^{(p)} = \langle \{q_i(X_n), X_n\} | a^{(8)} \rangle + \varepsilon^{(8)}$, где $a^{(8)}$ - коэффициенты регрессии, $\varepsilon^{(8)}$ - вектор невязки. В качестве предикторов модели $\{q_i(X_n), X_n\}$ взяты:

– независимые признаки – интенсивность использования сельхозугодий, комплексная оценка уровня воздействия сельхозпроизводства, оценка уровня развития сельхозпроизводства, наличие захоронений химических веществ и их перенос гидросетями, процент нарушенных земель в структуре земельного фонда, расстояние от г. Кирова, показатель автотранспортного освоения территории, суммарная оценка сброса промходов;

– кластеры показателей, являющиеся комплексными оценками антропогенного воздействия на территории региона: кластер $q_3(X_n^a)$ - оценка лесопользования, $q_4(X_n^a)$ - оценка воздействия за счет урбанизации территории, $q_8(X_n^a)$ - оценка сельскохозяйственного освоения территории (см. гл.3).

Коэффициент множественной корреляции модели 0,61, регрессоры кластеров $q_3(X_n^a)$, $q_4(X_n^a)$, $q_8(X_n^a)$ имеют значимые коэффициенты регрессии по критерию Стьюдента ($t > 2$).

Итоговая модель совместного действия факторов

Все рассмотренные выше субмодели имеют по χ^2 -критерию низкое качество. Их тренд-векторы $e^{(k)}$ использованы в основной модели, интерпретируясь, в соответствии с составом регрессоров субмодели, как некоторые обобщенные факторы, например "демографический" $e^{(1)} = (Y^{(p)} - \varepsilon^{(1)})$. В итоговой линейной модели $Y^{(p)} = \{e^{(i)}, b\} + \varepsilon$ где b - коэффициенты регрессии, ε - вектор невязки, в качестве предикторов взяты тренд-векторы субмоделей $e^{(i)} = (Y^{(p)} - \varepsilon^{(i)}) \in \mathbb{R}^{40}$.

Коэффициент множественной корреляции модели 0,9, регрессоры имеют значимые коэффициенты регрессии по критерию Стьюдента ($t > 2$).

Результаты моделирования приведены в табл 6.1.

Таблица 6.1

Факторы среды, определяющие репродуктивное здоровье женщин

Характеристика фактора	Факторы воздействия				
	Демографический	Этнический	Социальный	Природный	Антропогенный
Коэффициент регрессии	0,11	0,28	0,27	0,46	0,22
Число t критерия Стьюдента	1,0	3,3	2,6	4,5	2,5
Вклад фактора, %	7	11	15	34	11
Погрешность вклада %	±2	±5	±6	±9	±4

Модель последнего уровня включает пять факторов – демографический, этнический, социальный, природный и антропогенный. Из них, кроме демографического, все факторы имеют значимые коэффициенты регрессии на уровне 0,05. Наибольший вклад в вариабельность репродуктивного здоровья вносит природный фактор – на $34 \pm 9\%$ определяемую естественной изменчивостью экотопов. За ним следуют совокупный вклад социальных условий проживания – $15 \pm 6\%$, и, далее антропогенный ($11 \pm 4\%$) и этнический факторы ($11 \pm 5\%$).

Качество рассмотренной модели по χ^2 -критерию допускает две градации отклика, при 80% объяснимости репродуктивного здоровья совокупным действием факторов. Таким образом, данные модели "Факторы среды - здоровье человека" указывают на диагностические признаки и показатели окружающей среды, как вероятные мониторы РГСЭМ. Методику обследования для оценки влияния экологических факторов на репродуктивное здоровье предлагается включить в инструментарий РГСЭМ. Объем выборки - порядка 300/год человек из разных районов области. Периодичность обследования - ежегодная.

6.3. Организация общественного мониторинга

При формировании оценок экологической ситуации в регионе вследствие разреженности сетей наблюдений ряд систем мониторинга слабо обеспечен информацией. На локальном уровне мониторинга отсутствуют основные характеристики территорий – данные о состоянии природных сред на уровнях парцелл, слагающих ландшафты, а также биоты на уровнях биогеоценозов. Из сетевых ресурсов РГСЭМ с довольно представительными выборками, можно отметить лишь некоторые отчетные формы социально-гигиенического, социально-экономического мониторинга, а также геохимические данные агрохимической службы и показатели лесоустойчивости таксации.

Отсутствие системной полноты параметров описаний территорий, ставит вопрос об использовании данных сети общественного мониторинга, проводимого через систему образования (МчСО) – в микрорайонах школ. Организация сети биодиагностических наблюдений через систему учреждений образования обеспечит получение сигнальной информации об экологическом неблагополучии в масштабах парцелл ландшафта, массовый учет экологических показателей, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений, оценки территорий области в разрезах разных типологий, в том числе по 19 бассейнам водосбора и 14 почвенным округам.

Анализ опыта использования в системе мониторинга сообщений неквалифицированных специалистов в Англии, провел Н.Мур [123], сделав вывод, что плановый мониторинг не определил проблемы загрязнения окружающей среды - все они обнаружены простыми наблюдателями. "Накопленный в Великобритании опыт выявления новых проблем загрязнения имеет всеобщее значение. Систематический поиск новых явлений, связанных с загрязнением, труден и приходится опираться на случайные открытия. Однако этот внешне хаотический процесс можно облегчить систематической фиксацией распределения и численности организмов на основе обширной информации,

поступающей от населения". Многолетний опыт страны, занимающей передовые позиции в решении экологических проблем, показывает, что роль добровольных наблюдателей рассматривается как одна из ключевых в системе мониторинга.

Подобные системы мониторинга, включающие добровольных наблюдателей-информаторов развернуты в ряде стран мира, и уже можно говорить о накопленном опыте. Как правило, в настоящее время такие системы являются интегрированными средами информационного ресурсообмена (компьютерного, газетно-журнального, электронной и обычной почты), сочетающего исследовательский и тьютерный аспекты мониторинга.

Одной из наиболее показательных систем природоохранного контроля является зародившаяся в 1970г. в г. Вермонте (США) и ставшая общенациональной сеть наблюдений за рекой - RWN (River watch network), предоставляющая поддержку программам мониторинга на 63 реках США в 13 штатах и объединяющая свыше 7000 волонтеров (по данным на 1993г [124]). Свыше 70 % добровольных наблюдателей - это школьники, студенты и учителя. Система RWN не имеет единой программы контроля, а каждая программа исследований определяется задачами данного школьного класса, однако, сбор и анализ данных проводится в соответствии с природоохранными задачами общины (муниципальной программы мониторинга). Из технических средств можно отметить широкое применение волонтерами тестов, оформленных в виде "буклетов", для экспресс-анализа воды (на содержание меди, фенола, хлоридов, детергентов, аммиаков и различных нефтепродуктов, а также цвета, мутности, рН и температуры). В работе [125] приведен пример программы мониторинга "CRAGO" в заливе Дельта в Сан-Франциско. Добровольные наблюдатели, разделившись по возрастным группам, проводят тестирование воды (на содержание хлоридов, проводимость, температуру), сбор образцов планктона и других гидробионтов. Старшие помогают младшим, руководит работой освобожденный преподаватель.

В программе "GREEN" [126] регулярный контроль проводится по двум направлениям - физико-химический анализ воды (спектрофотометрическим методом) и биотестирование (с помощью дафний). Биодиагностика проводится по выживаемости тест-организмов после 48 -часовой экспозиции по пятибалльной шкале загрязненности: 6,25% - 12,5% - 25% - 50% - 100 %.

Программы экологического мониторинга городских водоемов включают обязательное привлечение групп общественности [127]. Так организация Coalition to Restore Urban Waters, существующая с 1993 г., объединяет свыше 300 таких групп, проводит их обучение, созывает конференции, выпускает литературу. Волонтеры, работающие по программам мониторинга городских водоемов, строго придерживаются протокола исследований, определяемого выработанным на компьютерных телеконференциях "плане полезности".

Помимо водоемов, в общественный экологический мониторинг городов включены регулярные исследования дождевых и снеговых осадков на содержание бактерий, токсинов, особенно пестицидов, металлов, производственных, автотранспортных и бытовых химических выбросов (в том числе следов краски, детергентов и др.), нефтепродуктов [128]. Также проводится и общественный экологический контроль ливневых вод [129], где

исследуются концентрации опасных химических веществ по их содержанию грязи и мусоре на решетках канализационных колодцев.

Для каждой из групп в системе RWN предоставляется координатор исследований, из числа специалистов. Общение групп проводится в сетевой информационной среде (открытой), причем университетами разрабатываются методики химических и биодиагностических исследований, а также программное обеспечение для других стран, что делает сеть международной.

Как подчеркивается в работе [6] центральной проблемой развития сети таких экспертных оценок в системе РГСЭМ является создание на высокопрофессиональном уровне упрощенных методик слежения за сложными для определения биологическими объектами. Однако, несмотря на то что с 1995г. в России внедряется система школьного мониторинга в рамках Международной программы "GLOBE", данная проблема, являясь самостоятельным разделом в практической реализации РГСЭМ, лишь только обозначена.

6.3.1. Подсистема мониторинга через систему образования

Включение школьного экологического мониторинга (ШЭМ) в государственную систему мониторинга региона требует разработки его концепции, программы, механизмов реализации и проведения организационных мероприятий. Проект ШЭМ должен осуществляется в рамках программы РГСЭМ, а также региональной программы экологического образования населения.

Принципы проведения школьного мониторинга

В Кировской области ШЭМ осуществляется по единой областной программе, обеспечивающей его единую параметрическую, хронологическую, структурную и информационную организацию. Ежегодно данные заносят в экологический паспорт территории микрорайона школы, имеющий стандартную форму для всего региона [130]. При проведении ШЭМ создается собственное ведомственное информационное пространство, обеспечивается обратная связь - оперативная (файловая, через BBS, электронную почту) и ежегодные печатные материалы.

Проведение исследований по единой программе позволит оценивать динамику изменений показателей на территории микрорайона школы, и экологическое состояние местности на основе ежегодного сравнения с данными соседних школ, со средними по району и региону. ШЭМ, как подсистема РГСЭМ проводится на двух уровнях: привлечение к исследованиям учителей-естественников, имеющих базовую подготовку, и проведение мониторинга силами учащихся по возрастно-адаптированным методикам. Это обеспечит массовый учет показателей экологического состояния территорий, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений в рамках программы РГСЭМ.

Организация мониторинга осуществляются по всей территории микрорайона школы - ландшафтно-географический мониторинг, который проводит учитель географии и для нескольких ключевых участков -

биодиагностический, фенологический и физико-химический мониторинг, который проводят учителя биологии, химии или экологии.

Школьный мониторинг в географическом аспекте

В основу географического аспекта положено отслеживание пространственных характеристик экологических факторов методами картографирования:

1. Выбор пространственной экологической единицы - "микрорайона школы" - территории, на которой проводятся наблюдения. Ее размеры выбираются учителем, исходящим из конкретных условий и своих возможностей.

2. Исследование экологической обстановки в окрестностях школы. Картографические исследования ведутся по планам местности, отображающих площади ареалов природных объектов и зон техногенного воздействия на уровнях данного года, полученных в ходе полевых исследований.

3. Инвентаризация всех объектов мониторинга. На план местности наносятся границы ареалов, зон и ландшафтных единиц. Палеткой измеряются площади зон и рассчитывается доля k -вида земель от общей территории S_0 зон нарушенности S_k/S_0 . В концепции ШЭМ рассматриваются три класса территорий, причем первые два из них, принимаются как квазиравновесные:

1. Естественные и слабо-измененные лесные и луговые биогеоценозы. Сукцессии достаточно медленные, ландшафты практически не нарушенные.

2. Сильно измененные ландшафты, равновесие поддерживается за счет притока внешней энергии (селитебные территории, промышленные зоны и земли, занятые под транспортные артерии, агроценозы и рекреационные земли).

3. Земли, выведенные из землепользования (отвалы, карьеры и т.п.).

Общим подходом к оценке экологического состояния территории является индикация нарушения экологического равновесия (баланса компонентов экосистемы). Рассматриваются территории, находящиеся в экологическом равновесии (квазиравновесии). Средообразующие компоненты экосистемы: энергия, газовый состав атмосферы, почва, организмы автотрофы (продуценты) и гетеротрофы (консументы и редуценты) на данных территориях достаточно долго находятся в определенном соотношении и сбалансированы. Поэтому сообщества данной экосистемы становятся медленно развивающимися – входят в заключительную фазу сукцессии. Такие экосистемы делятся на два класса:

- климаксовые сообщества (равновесие в природных условиях);
- узловое сообщества (баланс в техногенных условиях);

Поэтому, в соответствии с равновесными биогеоценозами для целей ШЭМ выделяют два типа экологически сбалансированных территорий:

1. *Природные ландшафты.* Сукцессии достаточно медленные, экосистемы практически ненарушенные или слабо-изменены (природное равновесие). Сюда входят лесные, луговые, речные и прочие экосистемы природного комплекса.

2. *Преобразованные ландшафты.* Несмотря на интенсивное преобразование экосистем они находятся в природно-антропогенном равновесии за счет притока внешней энергии. Равновесие на определенном уровне существует потому, что человеческая деятельность направлена против сукцессии.

Можно выделить следующие типы таких ландшафтов:

- селитебные территории, промышленные зоны и земли, занятые под транспортные артерии;

- агроценозы - пашни и луга (выпасы).

Задача ШЭМ – проведение регулярных наблюдений и отслеживание изменения (нарушения экологического баланса) для каждого типа таких ландшафтов. Заполняется таблица (табл. 6.1), куда входят: площадь земель S (га), доля земель, D (%), скорость процессов изменений земель V (%/год).

Таблица 6.1.

Экологическая оценка территории в микрорайоне школы

Критерии оценки территории		Категория территории
Доля площади земель S_k/S_0 .	Скорость нарастания изменений $\{(S_k/S_0)_2 - (S_k/S_0)_1\} / (S_k/S_0)_1 \cdot 100\%$	
Менее 5%	менее 0,5 % площади в год	Экологическая норма
от 5 до 20 %	от 0,5 до 2 % площади в год	Экологический риск
от 20 до 50%	2 до 4 % площади в год	Экологический кризис
Более 50%	более 4 % площади в год	Экологическое бедствие

Экологическая оценка территории выполняется по статическим и динамическим признакам, шкалы которых взяты из рекомендации работы [28] с экстраполяцией на масштаб микрорайона школы. Систематические ежегодные наблюдения позволяют отслеживать изменение площадей нарушенных и выведенных из землепользования земель в микрорайоне школы, оценивать скорость нарастания неблагоприятных изменений. Общий вывод о степени неблагоприятности экологического состояния территории микрорайона школы должен делаться на основании обеих обобщенных оценок.

Биодиагностический и физико-химический мониторинг

Биодиагностический и физико-химический мониторинг проводится на ключевых участках, которые выбирают по двум различным геоморфологическим классам, связанным с накоплением загрязняющих веществ в почвах - основные и участки сравнения. Основные ключевые участки выделяются в депрессивных элементах ландшафта, участки сравнения - в верхних частях склонов и на водоразделах. По степени антропогенного влияния ключевые участки подразделяют на две группы - площадки на напряженных и на "фоновых" территориях. Выбор участков делают с учетом их типичности, однородности почв (индицируемой по фитоценозам) и предшествующей истории.

Оценка состояния окружающей среды по ключевым участкам проводится по биоиндикаторам и методами физико-химического анализа:

- диагностика воздушного загрязнения - по состоянию хвои сосны, ее генеративных органов, кроны древостоя, приросту деревьев последних лет, продолжительности жизни хвои. Определяется встречаемость эпифитных лишайников - накипных, листоватых и кустистых. Проводится анализ снегового покрова (средняя глубина, кислотность, содержание сульфатов);

- биодиагностика состояния почв проводится по растениям-индикаторам (кислотности, щелочности, плодородия, содержания гумуса, азота, почвенной деградаци), беспозвоночным животным (саранчевым - индикаторам пастбищной нагрузки на луга, бабочкам - индикаторам восстановительной сукцессии на вырубках и при заболачивании почв, бабочкам-индикаторам неповрежденности экосистем, а также по дождевым червям). Проводится мониторинг загрязнения почв по частотам фенов белого клевера, качеству пыльцевых гранул растений, а также микробиологической активности - дыханию почвы (выделению углекислого газа) и разложению целлюлозы;

- биодиагностика качества воды водоемов проводится по органолептическим (прозрачность, цвет, вкус, запах) и физико-химическим методам (кислотность, качество по методу автографии донных осадков на фотобумаге и др.).

Кроме того, проводится мониторинг биоты (лесных фитоценозов), с регистрацией состояния древостоя, встречаемости и степени покрытия растений по ярусам. Дополнительно делают и фенологические наблюдения.

Другие виды ШЭМ

Мониторинг физических факторов окружающей среды проводится учащимися под руководством учителя физики. Осуществляется контроль шумового загрязнения на постоянных постах на улицах, делается оценка чистоты атмосферного воздуха по интенсивности транспортного потока (учет проехавших мимо автомашин), определяется запыленность воздуха (по массе пыли на листьях с деревьев), контролируется уровень электромагнитного излучения в радиоволновом диапазоне, проводится радиологический мониторинг (уровня и спектра гамма излучения, по методике, описанной в работе [130]).

Социально-валеологический мониторинг проводится учащимися под руководством учителей истории и биологии. Показатели социальных условий проживания получают путем анкетирования (или устного опроса) учащихся школы о численности населения (дома, подъезда), составе, жилищных условиях и доходах их семей. Для формирования оценок здоровья используют данные антропометрии (длина и масса тела, окружность груди, мышечную силу и показатели жизненной емкости легких).

Информационно-математический аспект ШЭМ, осуществляемый учащимися под руководством учителя информатики. Проводится статистическая обработка данных и их картографическое отображение с использованием компьютерных и геоинформационных технологий. Обмен информацией и методическим опытом проведения ШЭМ проводится на основе сети Интернет (дидактико-методические и информационно-аналитические электронные доски объявлений и конференции обмена данными ШЭМ), с вхождением в мировую информационную структуру.

Полученные в процессе исследований экологической обстановки наборы показателей ежегодно заносятся в экологический паспорт территории микрорайона школы, стандартного образца для всей области. Экопаспорт характеризует экологическую обстановку по всей территории микрорайона школы и для нескольких ключевых участков, с наиболее характерными

условиями (природными фациями и антропогенными влияниями). Форма экопаспорта и конкретные методики исследований приведены в книге [130].

6.4. Показатели для школьного мониторинга

Включение МчСО в систему РГСЭМ требует научного и метрологического обеспечения в территориальном, параметрическом, программном и организационном аспектах, которое должно проводиться кафедрами вузов и лабораториями НИИ региона. Это касается прежде всего параметрической организации – выбора и верификации методически простейших и, одновременно, достаточно информативных показателей экологического состояния территорий. Показатели, входящие в региональную номенклатуру экопаспорта испытаны на территории Кировской области. Ниже приводится опыт проведения таких исследований – полевых работ и статистической обработки результатов для обоснования двух методик, предложенных в книге [130].

6.4.1. Лихенологические показатели для школьного мониторинга

Известны различные оценки чистоты воздуха по описанию лишайников - видов или группировок под влиянием промышленных выбросов (см. обзоры [131, 132]), однако для обеспечения массовых режимных наблюдений необходимы простые методики количественной оценки. В отличие от подходов на основе единиц эпифитной растительности [133], экологического шкалирования [134], введения индексов [132, 135] необходима методика оценки чистоты атмосферы, по возможности не требующая видовой идентификации.

Таблица 6.2

Средние значения встречаемости эпифитных видов на липе мелколистной (*Tilia cordata*)

Вид лишайника	У	П	К	Вид лишайника	У	П	К
<i>Anaptychia sp.</i>	2	-	1	<i>Evernia divaricata</i>	-	3	-
<i>Parmelia cap.</i>	-	-	1	<i>Evernia prunostri</i>	3	3	-
<i>Cetraria pinastri</i>	-	4	-	<i>Hypogimnia bitteri</i>	-	-	1
<i>Parmelia divacea</i>	-	3	-	<i>Physcia stellaris</i>	3		1
<i>Cetraria glauvca</i>	-	3	-	<i>Hypogimnia physodes</i>	-	5	2
<i>Parmelia sp.</i>	3	-	-	<i>Parmelia exasperatula</i>	-	-	1
<i>Parmelia sulcata</i>	4	4	2	<i>Candelaria concolor</i>	3	-	1
<i>Physcia aipolia</i>	4	4	-	<i>Physcia pulverulente</i>	-	4	-
<i>Physcia gricea</i>	-	3	-	<i>Xantoria policarpe</i>	2	2	1
<i>Parmelia scortia</i>	-	3	-	<i>Xantoria candelaria</i>	2	-	-
<i>Usnea comora</i>	-	2	-	Накипные	2	2	2

В работах [136,137] подмечена закономерность - с ростом загрязненности воздуха вначале исчезают кустистые лишайники, за ними - листоватые и послед-

ними - накипные. На базе этой закономерности предложен индекс оценки загрязнения воздуха, без видовой идентификации эпифитов, а учитывающей (в баллах оценки) средние встречаемость-покрытие отдельно для каждого типа роста лишайников - кустистых, листоватых и накипных.

Результаты исследований для фоновых территорий (без учета накипных лишайников) показывают: в Медведском бору общее число видов составляет 44; в Кильмезском районе - 49 (18 родов и 12 семейств, из них 28 видов относятся к эпиксильным и эпифитным, а 21 вид - к эпигейным формам); в Верхнекамском - 48 видов (22 рода и 14 семейств). Для экострессорных территорий исследования выявляют: для зоны Кильмезского могильника пестицидов - только два вида лишайников (*Hypogymnia physodes* и *Evernia prunastri*), а на контрольных участках - 35 видов при встречаемости видов ниже в 2,5-3,5 раза относительно контроля. В зоне складов с химическим оружием (п.Марадыковский) встречается лишь один вид (*Hypogymnia physodes*); в г.Кирове (10 видов), большая часть города попадает в зону с ИЧА < 8.

Лишайники обследовались в двух эколого-географических округах - в Подосиновском (П) и Унинском районах (У), а также в г.Кирове (К). Для обеспечения единой буферной реакции коры и однородной кислотности все исследования проведены на субстрате *Tilia cordata* (табл.6.2.). Расчеты проведены в модели индекса чистоты атмосферы (ИЧА) Ле Бланка и Де Служера [135], с использованием средних значений токсикофобности, сведенных в единую десятибалльную шкалу в работе [132].

Расчетные значения ИЧА (через средний индекс токсикофобности видов) выбирались в качестве вектора отклика Y в линейной модели:

$$Y = \{X, A\} + \xi$$

где баллы X_n относятся к j -площадке описания и k - типу роста лишайников - кустистых, листоватых и накипных (в 5-балльной шкале встречаемости - покрытия); A_k - коэффициенты регрессии, ξ - вектор невязок.

Значимая (по Фишеру) линейная модель дает соотношения между коэффициентами A_k для кустистых, листоватых и для накипных типов роста, что позволило предложить для ШЭМ мнемонически простую аппроксимацию вектора A_k весовым вектором $\{1,2,3\}$ в модели вида:

ОЧА (%) = $(v_1 + 2v_2 + 3v_3)/30$, где v_1, v_2, v_3 - средние баллы встречаемости - покрытия для каждого типа роста - накипных (v_1), листоватых (v_2) и кустистых (v_3), согласно табл.6.2. ОЧА - индекс "относительной чистоты атмосферы", рекомендованный в составе инструментария ШЭМ [130].

В основу другого способа лишенодиагностики состояния атмосферы, пригодным для ШЭМ, можно положить оценки функции распределения частот степени покрытия s_n лишайников *Hypogymnia physodes*. Их высота поднятия по стволу является индикаторным признаком (в импактных условиях) [31].

В рассматриваемом регионе *Hypogymnia physodes* являются безусловными доминантами (субстрат - кора сосны лесной, высота отсчетов: 1-1,5м). Наблюдения показывают, что в импактных условиях функции распределения частот $\Phi(s_n)$ левоасимметричны, с максимумом $s_n \in (0-10\%)$, а на фоновых территориях большая часть сосен имеет покрытие с $s_n > 50\%$. На базе этого можно предложить лишенодиагностический индекс загрязнения атмосферы-

ного воздуха через отличие оценок функций распределения частот степени покрытия в импактных $\Phi(s_{л})_I$ и фоновых $\Phi(s_{л})_p$ условиях, например через обобщенное расстояние d_e в пространстве \mathfrak{R}^n соответствующих бинов частот встречаемости. Для оценок (нормированных на единицу) в виде векторов $\Phi(s_{л})_I = (a_k)_I$ и $\Phi(s_{л})_p = (a_k)_p$, где a_k - доля вариант, заключенная в k - бине, $k \in (1, n)$, в случае Евклидовой метрики обобщенная дистанция между лишенопопуляциями будет:

$$d_e^2 = \langle [(a_k)_I - (a_k)_p] \mid [(a_k)_I - (a_k)_p] \rangle .$$

В условиях глазомерной съемки n вряд ли стоит брать выше 3-5. Поэтому неудобства отсчетов, связанные с асимметрией $\Phi(s_{л})_I$ надо компенсировать выбором интервалов l_b бинов частот $s_{л}$ по возрастающему закону. Так на практике вполне удовлетворительна простейшая из четырех бинов модель оценок $\Phi(s_{л})_I$ с интервалами $l_b = (0-5; 5-20; 20-50; 50-100\%)$ и аппроксимацией функции распределения $\Phi(s_{л})_p$ "стандартным фоном" - вектором $(a_k)_p = (0, 0, 0, 1)^T$. В этом случае расчетная формула для дистанции между исследуемой популяцией и стандартным фоном d_e^2 - для индекса загрязнения воздуха примет простой вид:

$$d_e^2 = (a_1)^2 + (a_2)^2 + (a_3)^2 + (1-a_4)^2 .$$

Ниже приведен пример типизации территории по загрязнению воздуха вокруг складов с отравляющими веществами с использованием лишенодиагностики в рамках последней модели.

6.4.2. Фенотипические показатели для школьного мониторинга

Популяционная задача выявления действия естественного отбора решается по совпадению градиентов (факторов среды и частот отдельных фенотипов) и фенетическим анализом выживших групп при действии внешних факторов [146]. Поэтому для оценки состояния окружающей среды в инструментарий ШЭМ включена простая методика учета частот фенотипов белого клевера *Trifolium repens* по признаку "седой рисунок на пластинках листа", чувствительному к загрязнениям. Данная методика учета фенотипов основывается на двадцатилетнем опыте мониторинга селитебных зон Кировской области [166].

В 1992-1993гг. для установления ареалов частот фенотипов проведен ряд экспедиций по территории региона (221 площадка описания, 55 тыс. растений). Учитывались следующие формы - фен 2 (острый угол "седого рисунка"), фен 3 (тупой угол), фен 6 (сдвоенная точка), а также ИСФ (индекс соотношения фенотипов) - общая доля фенотипов с рисунком. Средние значения ИСФ в природных ландшафтах области составляют $31 \pm 1\%$, ($\sigma = 13,7\%$). Отмечены зоны повышенных значений ИСФ, фенотипов 2, 3, 6 и раритетных "городских" фенотипов.

Погрешность определения фенотипов на пробной площадке

Ввиду статистической независимости исходов каждого акта определения фенотипа при регистрации, определение соотношений фенотипов сводится к оценке вероятности события по частоте p регистрации величины, распределенной по биномиальному закону с параметрами N и p , где ошибки репрезентативности определяются объемом выборки N . Тогда, согласно [138], вероятность P того,

при что появление заданной доли фенов с рисунком ошибка не превысила уровня ξ , определяется:

$$P[|p^* - p| < \xi] = 2\text{erf}\{\xi N^{0,5} / [(p^*)(1-p^*)]^{0,5}\}, \text{ где } p^* - \text{частота события.}$$

Таблица 6.3

Количество куртинок N, необходимое, чтобы ошибка не превысила заданного уровня J с вероятностью P для разных частот ИСФ

Вероятность	P = 0,9		P = 0,95	
	Уровень ошибки J		Уровень ошибки J	
	0,05		0,05	0,02
Частота фенов в выборке		Выборка, куртинок N		
10%;	90%	97	137	864
20%;	80%	172	244	1536
30%;	70%	226	320	2016
40%;	60%	258	366	2304
50%		269	381	2400

Расчеты, приведенные в табл. 6.3., соотносят параметры и качество оценки: объем выборки (число куртинок N), уровень ошибки и соответствующую ему вероятность P для разных частот встречаемости фенов. Согласно табл.6.3 при редкой, так и частой встречаемости учетных фенов можно точнее проводить оценку комплекса фенов, ввиду меньшего требуемого объема выборки.

Техногенная нагрузка и фенотипы биоиндикатора

Верификация частот фенов белого клевера как маркера техногенной нагрузки проводилась двумя способами - сравнением средних значений и дисперсий выборок и оценок структурных различий в соотношениях фенов.

Для уменьшения выборочных смещений оценок выборок ИСФ популяций применены бутстреп-процедуры. Результаты для бутстреп-средних, сигма, оценок выборочных дисперсий, доверительных границ ИСФ фенофондов (для уровней значимости P) приведены в табл.6.4.

Таблица 6.4

Бутстреп - оценки статистик ИСФ популяций Trifolium Repens на территориях г. Кирова и Кировской области

Оценки ИСФ	Параметры выборок			Уровень значимости
	Среднее	Сигма	Дисперсия	
г.Киров, среднее	0,670	0,098	0,010	
Доверительные интервалы	0,668 -0,672	0,097-0,099	0,09-0,010	0,05
	0,667-0,672	0,097-0,099	0,09-0,010	0,01
Регион, среднее	0,307	0,136	0,021	
Доверительные интервалы	0,289-0,325	0,124-0,150	0,016-0,027	0,05
	0,283-0,331	0,120-0,155	0,015-0,029	0,01

Таблица 6.5

Структуры фенотипов признака “седой рисунок” для популяций *Trifolium repens* в г.Кирове и Кировской области

Параметры выборок		Доля фенотипов		
		M_{H2}	M_{H*}	ИСФ
г.Киров (N=70)	Среднее Z_1	0,41	0,27	0,67
	Сигма	0,09	0,08	0,10
	Дисперсия D_1	0,01	0,01	0,01
Кировская область (N=221)	Среднее Z_2	0,18	0,13	0,31
	Сигма	0,10	0,10	0,14
	Дисперсия D_2	0,01	0,01	0,02
Отношение (D_2/D_1)		1,10	1,74	2,04
Уровни значимости J для D_2/D_1		-	0,01	0,001
Превышение		2,23	2,09	2,16
Разность $Z_1 - Z_2$		0,22	0,14	0,36
T для различимых дисперсий D_1 и D_2		-	0,04	0,06
t для неотличимых дисперсий ($J=0,05$) ($J=0,01$)		0,02	-	-
		0,03	-	-

В табл.6.5 приведены данные средних, сигма и дисперсий для ИСФ, частот 2-го фенотипа (M_{H2}) и частот всех остальных фенотипов с рисунком (M_{H*}).

Согласно табл.6.5 для города средние уровни всех трех характеристик фенотипов Z_1 более чем в два раза выше средних показателей Z_2 в природных условиях области. Уровни значимости различия дисперсий D_2/D_1 установлены при помощи F -распределения Фишера. Дисперсии D_2 и D_1 не являются оценками одной и той же генеральной дисперсии - отличие имеется по ИСФ (на уровне 0,01) и по сумме частот фенотипов M_{H*} (0,01), говоря о закономерности в различии выборок). Однако данные частот M_{H2} не отвергают нулевую гипотезу $D_2 = D_1$, что можно объяснить общностью причин, вызывающих сходную изменчивость (при двукратном различии средних) в структуре фенотипов при различии в воздействии. Для проверки различий выборочных средних Z_1 и Z_2 использовались t -критерий Стьюдента, с условием значимости $Z_1 - Z_2 > t$ (для сравнения частот 2-го фенотипа, имеющих неразличимые дисперсии выборок) и приближенный T -критерий [139], с условием $Z_1 - Z_2 > T$, для сравнения данных с различимыми дисперсиями (для выборок ИСФ и M_{H*}). Поскольку t и T меньше ($Z_1 - Z_2$), нулевые гипотезы $Z_1 = Z_2$ отвергаются, и двукратные превышения всех трех средних: ИСФ, M_{H2} , M_{H*} достоверны для урбанизированных условий.

Структурные оценки частот фенотипов

Сравнение частотной структуры фенотипов проводилась для средних частот фенотипов $v_n(x,y)$ в популяциях 16 зон области и г.Кирова (объем выборки каждой из зон 3-4 тысячи растений на площади в 5-7 тыс. кв.км.).

Кластеры получены (метрика Махаланобиса R_m^i) в пространстве частот фенотипов \mathcal{R}^n , с взвешиванием по числу ребер графа связей. На корневом уровне кластер $U_{15}\{v_n(x,y)\}$ отражает общую структуру фенотипов популяций области, а второй - г.Кирова (фенетическая дистанция $R_m^{(16)} = 11,7$). Значение

$R_m^{(16)}$ соизмеримо с $R_m^\Sigma = 13,1$, где $R_m^\Sigma = \Sigma R_m^i$ - сумма всех 15 межгрупповых расстояний графа объединений. Резкая обособленность структуры фенотипов в популяциях города и в природных условиях, по-видимому, связана с различными средовыми нагрузками.

На 15 этапе дендрит содержит три территории: г.Киров, с превышениями на 2-3 сигма по всем фенам, и два кластера $U_{13}\{v_n(x,y)\}$ и $U_{14}\{v_n(x,y)\}$. Кластер 13 этапа $U_{13}\{v_n(x,y)\}$, включает 4 зоны, с превышением частот M_{H2} на $0,67\sigma$ при низких частотах $M_{H^*} = -0,82\sigma$. Он занимает южную половину области, кластер 14 этапа $U_{14}\{v_n(x,y)\}$ занимает северную часть области при низких M_{H2} ($-0,47\sigma$) и средних по региону значениях M_{H^*} ($+0,06\sigma$).

По 23-м природно-климатическим показателям и параметрам воздействий X_k , взятых из работы [65], вдоль обобщенного расстояния R_m выявляются клины в изменчивости структур фенотипов. С ростом антропогенной нагрузки растет R_m , что удаляет кластер от центра сложившейся в природных популяциях квазиравновесной структуры частот фенотипов.

Следующий этап - объединение 23-х признаков X_k по минимумам R_m , позволяет перейти к оценкам влияния внешних факторов - кластерам параметров. При $v=20$ изменение R_m в дендрите связей претерпевает резкий скачок - с $Rm = 2,2$ до $Rm = 6,6$. При $v=20$ дендрит содержит четыре кластера $W_{18}(X_k)$, $W_8(X_k)$, $W_9(X_k)$, $W_{17}(X_k)$, полученных на 8, 17, 18 и 19 этапах (табл.6.6)

Согласно табл.6.6 три кластера показателей $W_{18}(X_k)$, $W_8(X_k)$ и $W_{17}(X_k)$ образуют клины по кластерам территорий (по градиенту факторов воздействия $dW(X_k)/dR_m$). Каждый фактор, проявляющийся через структуру фенотипов, трактуется определенными аспектами человеческой деятельности.

Таблица 6.6

Клиальная изменчивость кластеров параметров окружающей среды вдоль фенетических дистанций популяций R_m

Кластеры параметров	Кластеры территорий				
	г.Киров	U_{13}	U_{14}	$dW(X_k)/dR_m$	
$W_{18}(X_k)$	1,45	0,23	-0,16	0,10	17%
$W_8(X_k)$	4,95	0,16	-0,28	0,33	54%
$W_{17}(X_k)$	1,83	0,29	0,08	0,11	18%
$W_9(X_k)$ *	1,17	-0,48	0,27	0,07	11%
Фенетические дистанции R_m	18,7	7,0	3,0		

* Кластер $W_9(X_k)$ - лесохозяйственный фактор исключается - нет клиальности по обобщенному расстоянию R_m , однако $dW_9(X_k)/dR_m$ в среднем равно 0,07, индицирует вероятное воздействие фактора $W_9(X_k)$.

1. Кластер $W_8(X_k)$. Включает доли земель под дорогами и постройками, стоимость сельхозпродукции и плотность населения. По оценке $dW(X_k)/dR_m$ превышает сумму оценок для остальных факторов (54%) и интерпретируется (по составу X_k) как хозяйственно-бытовая жизнедеятельность населения.

2. Кластер $W_{17}(X_k)$. Включает показатели аэрогенного загрязнения (фонового и локального) и количество осадков. Доля градиентной оценки воздействия $dW(X_k)/dR_m$ - 18%. Фактор может интерпретироваться выбросами в

атмосферу промышленными предприятиями, и вымыванием поллютантов осадками.

3. Кластер $W_{18}(X_k)$. Доля градиентной оценки 17%. Фактор отражает влияние комплекса воздействий (по 15 показателям X_k), интерпретируясь как техногенный аспект жизнедеятельности населения в ареале проживания. Однако, как показано выше, широтно-зональный фактор определил состав растительности, и, далее, структуру видов хозяйственной деятельности, а с ними и характер антропогенной нагрузки на окружающую среду в регионе. Поэтому, кластеры $W_{18}(X_k)$, $W_8(X_k)$ и $W_{17}(X_k)$ отражают зональный фактор и, таким образом, при совпадении градиентов факторов среды и частот отдельных фенотипов следует учитывать взаимосвязь природных условий и структуры хозяйства. В масштабе региона зональный фактор лимитирует фенетические дистанции R_m популяций, проявляясь и через клинальность хозяйственных параметров территорий. Сравнение структур фенотипов импактной территории г.Кирова с природными биоценозами дает статистически достоверное различие.

Итак, по структуре частот фенотипов кластеры $U_{13}\{v_n(x,y)\}$ и $U_{14}\{v_n(x,y)\}$ соответствуют зонам Земли (таксономии по Разумовскому)- Ветлужскому и Сухонскому округам, а популяции г.Кирова образуют отдельный, далеко удаленный кластер. Последнее обстоятельство говорит об информативности признака "седой рисунок на пластинках листа" для индикации антропогенного давления на популяции. Это позволяет надеяться на успешность применения в массовых режимных наблюдениях за загрязнениями среды простой методики количественной оценки частот фенотипов *Trifolium repens*.

* * *

С 1996г. в Кировской области реализуется программа школьного экомониторинга (ШЭМ), утвержденная в регионе через Положение департамента образования. Ее центральным документом является экологический паспорт территории микрорайона школы, ежегодно заполняемый школами по единой методике. В рамках реализации этой программы в течение летних полевых сезонов 1997–1998 гг. состоялся ряд экологических экспедиций под руководством преподавателей и научных работников Вятского госпедуниверситета с участием школьных преподавателей, аспирантов, студентов и школьников. С целью создания единой региональной системы школьного экологического мониторинга (ШЭМ) была разработана и распространена стандартная форма бланка экологического паспорта территории микрорайона школы. При этом не ставилось условие обязательного заполнения всех его граф. Исходя из своих реальных возможностей, школы вносили в паспорт ту информацию, которую им удалось получить в ходе проводимых исследований. В 1998 г. было заполнено несколько десятков экопаспортов в различных районах области, положивших начало выполнению программы школьного экологического мониторинга.

ГЛАВА 7. ЗАДАЧИ РГСЭМ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ

В соответствии с требованиями к территориальной подсистеме РГСЭМ [1] наблюдения за экологической обстановкой и воздействиями на нее должны обеспечивать получение данных о концентрациях загрязняющих веществ в объектах окружающей природной среды; о выбросах и сбросах загрязняющих веществ; о физических загрязнениях (уровни шума, радиации, электромагнитного излучения), а также содержать гидрометеорологические данные; параметры биоты; данные расшифровки спектрограмм, фотоизображений и пр. При выполнении мониторинга должна предусматриваться организация технической базы наблюдений, обеспечение ее функционирования, оперативности и точности измерений, документирование получаемых данных.

Перечни и режимы наблюдений (контактных, дистанционных и визуальных) устанавливаются программой РГСЭМ и зависят от требований к информационному портрету экологической обстановки, объектов наблюдения, принятых методик и аппаратурно-технического обеспечения. В Кировской области программа РГСЭМ разработана в 1997 г. [32] и тогда же начата ее практическая реализация. Внедрение системы РГСЭМ потребовало, во-первых, проведения экспедиционных работ в импактных и референтных зонах области, а во-вторых, создания структуризованной системы экомониторов. Для решения этих задач сформирована научно-исследовательская группа специалистов вузов г.Кирова при участии ИЭРиЖ УрО РАН (г.Екатеринбург).

7.1. Экологическая оценка ландшафтов на полигонах РГСЭМ

Согласно концепции РГСЭМ в административном регионе предусмотрены полигоны регионального фона и техногенных зон с проведением режимных наблюдений по минимальной номенклатуре показателей. Режимным наблюдениям предшествуют предварительные исследования, с использованием фотоматериалов дистанционного зондирования, которые подлежат дешифровке силами специалистов, объединенных в телеконференции сети РГСЭМ. Дешифровка должна проводиться по средообразующим компонентам экосистем и пространственному распределению основных экотопов.

Оценка экосистем на полигонах проводится по ландшафтно-экологическим данным, показателям, полученным на ключевых участках, а также по всем ведомственным материалам организаций, аккредитованных в РГСЭМ. Работу предусматривается проводить на договорных условиях силами специалистов в ходе регулярных экспедиций, с периодичностью от 1 раза в год до 3 раз в сезон (для наиболее лабильных показателей).

Оценка ландшафтов с помощью аэрофото- и космосъемки

Аэрокосмическая съемка территорий ОП и ИЗ производится с периодичностью 1 раз в 5 лет с обязательным согласованием сроков съемки с графиком наземных исследований. Проводится дешифровка материалов по результатам космических съемок с ИСЗ "Landsat", системы мониторинга Ресурс 01, а также аэрофото-съемки, и создаются тематические базы данных. Проводится анализ материалов дешифровки для всех ландшафтов,

представленных на данном опорном полигоне по территориальным показателям: лесистости, площади хвойных и лиственных лесов, их видовому составу, полноте, возрастной структуре, приросту, площади и концентрации гарей, рубок, антропогенной деятельности на территории лесов, площадям пашен, сенокосов, пастбищ и др.

Оценка ландшафтов ОП и ИЗ по показателям площадей

Организациями в сеть РГСЭМ предоставляются данные по территориям ОП и ИЗ: характеристики почв; содержание гумуса; уровень грунтовых вод; показатели загрязнения почв, показатели состояния поверхностных и подземных вод (органолептические и физико-химические характеристики) и показатели загрязнения (тяжелыми металлами, пестицидами, нефтепродуктами и др.); показатели загрязнения атмосферного воздуха (взвешенные частицы, оксиды серы, азота и углерода, озон, бенз(а)пирен, хлорорганические соединения, тяжелые металлы, фреоны, углеводороды). Дополнительно, помимо точечных оценок проводится оценка ОП и ИЗ по следующим позициям:

1. На базе данных Управления лесами, Ассоциации "Вятский лес": площадь коренных (квазикоренных) ассоциаций; лесистость (% от зональной); гибель лесных культур (от площади лесокультурных работ); доля площади посевов и лесопосадок, поврежденных вредителями; средняя площадь элементарного выдела; распределение площадей элементарных выделов по градациям; биоразнообразие (индекс Симпсона); размер рубки; площадь лесовосстановительных работ; площадь ухода за лесом; лесов, нарушенных стихийными бедствиями; запас древесины (доля от нормальной); заболевание древостоев (доля деревьев); полнота древостоя; повреждение древостоя промышленным дымом; повреждение хвои промышленным дымом (доля биомассы); степень инсуляризации территории; повреждение растительности дымом; возрастной спектр ценопопуляций доминантов (статические показатели).

Через 5 лет наблюдений по материалам мониторинга проводятся оценки динамических признаков. Отслеживаются следующие скорости: трансформации площади ландшафтных объектов (за счет вырубок); ухудшение видового состава естественной растительности - смена доминантов, субдоминантов и характерных видов; ухудшение ассоциированности естественной растительности; уменьшение запаса древесины (оценки по динамическим признакам).

2. Проводится оценка ландшафтов ОП и ИЗ по данным Комитета по земельным ресурсам и землеустройству, Департамента сельского хозяйства, АХЦ "Кировский", ЦГСЭМ, ВГСХА по показателям площадей: земли, занятые под пашни; под пастбища; с неблагоприятными агрометеорологическими условиями; подверженные ветровой, водной эрозии; занятые населенными пунктами и транспортными магистралями; мелиорированные угодья; искусственные водохранилища; сбитые пастбища; отвалы токсичных пород с угрозой загрязнения грунтовых вод; обнаженные коренные породы; задернованные песчаные почвы. Кроме того, отслеживается развитие вредителей в посевах; гибель посевов; расчлененность территории оврагами, сработка торфа в текущем году; продуктивность, перегрузка пастбищ и засоренность агроценозов.

Через 5 лет наблюдений проводятся оценки динамических признаков. Отслеживаются скорости трансформации территориальных объектов (% площади в год): вновь освоенных под пашню сельхозугодий; мелиорированных угодий; искусственных водохранилищ; увеличение площади сбитых пастбищ; увеличение площади эродированных почв; земель с неблагоприятными агромелиоративными условиями; эродированных земель; уменьшение содержания гумуса в почве; годовой продукции растительности; сработка торфа; потери почвенной массы; соотношение площадей разной степени нарушенности экосистем; развитие вредителей в посевах и гибель посевов; проективное покрытие и продуктивность пастбищной растительности.

3. Оценка водных источников ОП и ИЗ проводится по показателям ЦГСЭМ, Облкомгео, АХЦ "Кировский" и др.: ресурсы поверхностных вод (количество водотоков по категориям, их длина, площадь водосбора, годовой сток); модуль поверхностного стока; средний уровень подземных вод.

4. Оценка состояния атмосферы ОП и ИЗ проводится на основании данных ЦГСЭМ, Облгоскомэкологии, ведомственных лабораторий по метеорологическим характеристикам (температура, параметры ветра, давление, влажность, солнечная радиация, облачность, количество осадков).

7.2. Методы наземных исследований

В сетевых ресурсах РГСЭМ (рис.1.3) должны содержаться показатели сетей ведомственных наблюдений (приоритетные, имеющие наибольшие веса в моделях "факторы среды - экологическое состояние территорий"; данные о территориях локального уровня (на ОП и ИЗ) и параметры полученные типологическим преобразованием). Описания территорий ОП и ИЗ содержат показатели: космической съемки, данные сетей ведомственных наблюдений (по полной номенклатуре, со всех пунктов наблюдений и контрольных створов, находящихся на территории данного полигона), режимных исследований, осуществленных специалистами на пробных площадках наблюдений (по номенклатуре Программы РГСЭМ [32]); данные общественного мониторинга, в т.ч. ШЭМ (согласно экопаспортов микрорайона школ [130]). Основные показатели для оценки деградации наземных экосистем по пространственным, в т.ч. динамическим признакам приведены в работе [32].

В список включены экологически шкалируемые параметры и те, по которым установлены нормативы (критерии). Поскольку на ОП и ИЗ работа проводится экспедициями, то из показателей выбраны наиболее информативные, простые для пробоотбора и полевого исследования (список см. в [32]).

Методы биодиагностики на полигонах

Воздействие хозяйственной деятельности на биоценозы приводит к их структурно-функциональным изменениям, с нарушением взаимосвязей внутри биотопа, теряющего средо- и ресурсовоспроизводящие функции. Необходимо учитывать следующие показатели: площадь проявления изменений (при равной деградации территорий возможность восстановления обратно пропорциональна площади); пространственную неоднородность распределения участков разной степени деградации на исследуемой территории; изменение показателей по

климатическим зонам области. Дополнительно рассчитываются структурные изменения: соотношение площадей разной нарушенности экосистем (в ее долях); структурно-функциональные характеристики состояния экосистем (необратимое нарушение взаимосвязи, нарушение структуры сообществ без необратимых процессов, отдельные признаки деградации ряда компонентов в экосистемах); трофическая структура - изменение удельной массы (увеличение для фитофагов, уменьшение – для зоофагов и сапрофагов).

Считается, что биоиндикация загрязнения окружающей среды обладает следующими преимуществами перед методами физико-химического анализа [37]: высокая чувствительность; усредненность отклика; суммация действия антропогенных факторов, как ответ на общий стресс; отслеживание скорости изменений среды; сигнализация токсического действия на организм. Важно, и то, что они не требуют дорогостоящей аппаратуры. Химические методы дают количественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии. Биологические – информируя о биологических последствиях, служат лишь для косвенных выводов о самом факторе [140].

В работах [141-143] установлены экологические шкалы для оценки среды по растительности и указано на возможность определения значений фактора (с небольшим числом градаций N_s) по реакции индикаторных систем (организмов или сообществ). В работах [144,145] развиты подходы, опирающиеся на распознавание образов, устанавливающие $N_s = 2-3$, при заданной вероятности.

Фитодиагностика проводится на различных уровнях – суборганизменном (биохимические и физиологические реакции), организменном (регистрация морфологических изменений, интерпретация воздействия и бонитировка поражений по балльным шкалам), популяционном (изменение характеристик популяций - продуктивности, возрастной структуры и др.), фитоценоотическом (изменения структурных признаков фитоценоза - материального баланса, пространственно-структурных параметров). На последнем уровне нарушения ценоотической структуры оценивают с помощью коэффициентов общности, разнообразия - интегральных характеристик структуры сообществ. Особенности индикации на ценоотическом уровне заключаются в ее комплексном характере, позволяющем учесть сильные взаимодействия параметров среды, при невозможности специфической биоиндикации.

Лихенодиагностика. Основными факторами воздействия на лишенофлору являются двуокись серы, фториды, тяжелые металлы. Лишайники, как наиболее чувствительный компонент экосистем, диагностируют в диапазоне от начальных и до высоких уровней загрязнения (трансплантационные методы), когда естественная лишенофлора уничтожена. Методы лишенодиагностики контролируют загрязнение в виде индексов и экологических шкал: распространение отдельных видов, эпифитных синузий, количество видов, параметры группировок (встречаемости, покрытия, жизненности), единицы эпифитной флоры.

Зоодиагностика проводится на морфолого-анатомическом уровне (изменение размеров и отдельных частей тела, микроструктуры поверхности, окраски тела или его частей), на популяционном уровне (размер популяции,

изменений состава гильдий, рождаемости и смертности, процент окукливания, вылета, продолжительность жизни имаго, плотность популяции, а также поведенческая реакция на стресс), на уровне сообществ - параметры структуры (доминирование, видовое разнообразие, равномерность распределения).

Оценка фитоценозов

Для оптимизации системы параметров экомониторинга интерес представляют перечни показателей, предложенных для Кировской области - оценки состояния лесных и луговых экосистем по ярусам и функциональным блокам (основных и коррелятивных, приоритетных и взаимозаменяемых). В работах [116, 6, 31] определена адаптированная к условиям южной тайги номенклатура (в том числе, интегральных показателей), для оценки фоновых и импактных территорий. В систему включены автотрофные организмы (древесные и травянистые растения), сапротрофные организмы (почвенные микроорганизмы и мезофауна), консументы (млекопитающие, птицы) и лишайники (как наиболее чувствительные индикаторы загрязнения окружающей среды). Критерии выбора параметров отражают роль компонента в круговороте вещества-энергии, в поддержании устойчивости экосистемы; вклад в функционирование экосистем более высокого ранга, выполнение экосистемой социально-экономических и эстетических функций (основные переменные) или чувствительность, надежность и малое время реагирования на действие техногенных факторов (коррелятивные переменные). «Основные» интерпретируют в ценностных шкалах, а неинтерпретируемые - «коррелятивные», могут быть опережающими индикаторами [100].

В импактных зонах и на ОП подбираются "бассейны -аналоги" [148] в типичных пространственно-сопряженных сериях гидро-литоморфно-геохимического ряда экосистем - катенах, в первую очередь отслеживаются биоиндикаторы. Выбираются показатели, используемые в исследованиях по программе фоновому мониторингу окружающей среды [147, 149, 150], показатели для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия [13], информативные индикаторы для зонально схожих условий [147, 151] и др. Биодиагностика на ОП проводится на различных уровнях по морфологическим тестам; физиологической активности, накоплению биомассы, плотности индивидов в популяциях, накоплению поллютантов в природных средах. Поскольку в ряде регионов имеется риск воздействия на биоту генотоксикантов - боевых ОВ и продуктов их трансформации, то для ОП и ИЗ в номенклатуру включены методы генетического мониторинга.

Для важнейшей задачи РГСЭМ "доза - эффект" формирование оценки лучше проводить на уровне биоценозов. Флористическое богатство состава сообщества (ассоциации) оценивается 2-3 раза в вегетационный сезон по индексам разнообразия, выравненности, обилия, сходства и др. Флористическое сходство обычно оценивается с помощью коэффициентов сходства видов: коэффициент Жаккара: $K_{жк} = c/(a+b-c)$, $K_{жк} \in (0,1)$ и коэффициент Сьеренсена - Чекановского: $K_{сч} = 2c/(a+b)$, $K_{сч} \in (0,1)$, где а - число видов в описании А, b - число видов в описании В; с - число видов, встречающихся в обоих описаниях. Для количественных данных:

$$K = \sum_{i=1}^N \min(A_i B_i) / \left(\sum_{i=1}^N A_i + \sum_{i=1}^N B_i \right), \quad K \in (0,1), \quad \text{где } A_i \text{ и } B_i -$$

количественные значения i -го вида в описаниях А и В, N - общее количество видов. Наиболее адекватен индекс $K_{сч}$ для количественных показателей, который и рекомендуется к применению. Из других показателей применяют индекс Симпсона и меру Шеннона. Согласно [153] для выделения ИЗ удобно отношение современного нарушенного фитоценоза с учетом состояния древостоя в 6-балльной шкале к энтропии фонового состояния (на ОП). Можно использовать и интегральный показатель вида: $\Delta_{\phi} = n^{-1} \sum_i w_i A_{ij} / A_{i\phi}$, где A_{ij} - значение j -показателя в i -импактной точке, $A_{i\phi}$ - в i -контрольной точке, w_j - весовая функция j - показателя, например $w_j = \sigma^2 / M(A_{i\phi})$. Для случая $w_i = 1$ имеется положительный опыт для экосистем южной и средней тайги [154] ($\Delta_{\phi} \equiv ИКС$ - интегральный коэффициент сохранности $ИКС = n^{-1} \sum_i A_{ij} / A_{i\phi}$), рекомендуемый для задач экологического нормирования.

В процессе мониторинга необходима верификация и отбор показателей на ОП (начальная номенклатура приведена в Программе РГСЭМ [32]).

7.3. Проведение исследований на территории полигона

Каждый полигон экологического мониторинга должен отражать характерные биоценозы территории контроля на площади порядка 1 тыс. кв. км. На ОП обследуется территория и закладываются ключевые участки. Ключевые участки выбираются по двум морфологически различным классам - где эндогенные сукцессионные смены протекают нормально, и где антропогенные или природные воздействия приводят к экзогенным сменам [50]:

а) тестовые ключевые участки выделяются в зонах аккумуляции контролируемых соединений на чувствительных к загрязняющим веществам почвах. "Критическими" являются малопродуктивные почвы с кислой реакцией, низкими запасами гумуса, легкие по гранулометрическому составу (речные поймы, нижние части склонов долин, на водораздельных пространствах в депрессиях местной аккумуляции);

б) референтные ключевые участки (площадки сравнения) выделяются в элювиальных элементах ландшафта - на водоразделах, в верхних частях склонов на почвах с высокой буферной способностью к загрязняющим веществам.

Ключевые участки (тестовые и референтные) делятся на группы: постоянные; вспомогательные; временные, с рандомизацией их выбора. Кроме того, закладывают площадки на экотонах. Участки мониторинга почв (от 20x20 до 40x40 кв.м) закладывают рядом с участками мониторинга растительности.

На территории ОП проводится геоботаническое картирование: всей территории полигона, в масштабе 1:10000 с выделением экогенетических серий, для интерпретации результатов изучения макрофауны; территорий ключевых участков, в масштабе 1:100-1:200 (для картирования напочвенной и почвенной мезо- и микрофауны). Ведутся журнал, карта контрольных измерений и сигнальная карта экстремальных ситуаций. База данных, содержит три блока: характеристика монитора; контрольные тесты; описание ключевого участка.

По результатам исследований составляются констатационные карты в среде ГИС, с ежегодной актуализацией: ландшафтная; состояния растительного покрова; использования земель; антропогенных и техногенных источников воздействия; почвенная; гидрогеологическая; гидрологическая.

Проведение исследований осуществляется по показателям состояния растительности, почвы, почвенной биоты, животного мира, гидробионтов, а также концентраций основных загрязнителей на ключевых участках территории опорного полигона. На ОП проводят исследования по системе признаков: характеристик состояния экосистем и природных сред в результате действия факторов хозяйственной деятельности. На всех ОП применяются две группы показателей - по обязательной номенклатуре, включающей общий для всех ОП перечень отслеживаемых параметров, и по специальной.

В обязательную региональную номенклатуру входят наиболее часто рекомендуемые показатели программ комплексного мониторинга состояния окружающей среды, экологически шкалируемые, а также нормируемые параметры. Поскольку на полигонах основная работа проводится силами экспедиций, то показатели выбираются по принципу наибольшей информативности при простоте пробоотбора и полевого исследования.

Наблюдение за состоянием почвы. На опорных полигонах применяются показатели обязательной номенклатуры, которые делятся на три группы в зависимости от периодичности диагностики (долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной). К звеньям экосистем, в которых происходят существенные накопления загрязняющих веществ и создаются высокие дозовые нагрузки относятся: лесные подстилки, верхний гумусовый горизонт (0 - 5 см) и иллювиальный горизонт (для промывного режима почв). Анализ подстилки или верхнего горизонта почвы, мощностью 10 см проводится ежегодно, а нижележащий слой (10-60 см) анализируется 1 раз в 10 лет.

Показатели долгосрочной диагностики при "нормальном" загрязнении отслеживаются с периодичностью - один раз в 10 лет.

На предварительном этапе мониторинга проводится оценка фундаментальных свойств почв: валовый состав почв, включая валовое содержание тяжелых металлов, пестицидов, почвенных минералов; запасы гумуса; морфологические и физические свойства почв (плотность, структурный состав, водопроницаемость, гранулометрический состав).

Показатели среднесрочных изменений свойств почв (периодичность - один раз в 3 года). Проводится оценка катионо-обменных свойств почв, содержащих доступные для растений формы элементов питания; кислоторастворимых форм *Ca, Mg, Fe, Al*; подвижных форм тяжелых металлов; скорости деструкционных процессов; мощности и запасов подстилки; фракционного состава гумуса.

Показатели ранней диагностики негативных изменений почв - биологическая активность (численность и видовой состав организмов и беспозвоночных, их биомасса, интенсивность выделения углекислого газа почвой, активность азотфиксации и денитрификации, нитрификационная способность, ферментативная активность и влагосодержание); характеристики кислотно-основных, ионно-солевых, окислительно-восстановительных режимов

почв (рН и активность других ионов, содержание *N, P, S, Ca, Mg, Sr*, гумуса). Мониторинг проводится один раз в год.

На полигонах ИЗ и городских станциях до 3 раз за сезон определяется наиболее лабильный показатель - "дыхание", остальные определяются 1 раз в год. На станциях городского мониторинга дополнительно определяют показатели аэрогенного закисления почв с периодичностью 3 раза за сезон: кислотность почв (рН, обменная и гидролитическая); катионо-обменные свойства почв (содержание обменного *Ca, Mg, H, Al*, степень насыщенности основаниями); состав почвенного раствора (рН, концентрация *Ca, Mg, K, Al, Mn, Zn, Cd, V*).

Наблюдение за состоянием биоты. На полигонах определяются следующие показатели обязательной номенклатуры, которые определяются с периодичностью один раз в год.

1. Индикаторы состояния ценопопуляций древесных и травянистых растений: число видов сосудистых растений (в т.ч. в интегральных показателях); общее проективное покрытие ярусов растительности.

2. Индикаторы роста и развития (*Pinus Silvestris*): ежегодный прирост древесины, диаметр, длина центрального и бокового побегов.

3. Индикаторы почвенной биоты: мощность лесной подстилки; масса войлока для луговых ценозов (толщина, подстилично-опадочный коэффициент); общая плотность населения мезофауны.

4. Содержание элементов в укосах растений и растительных кормах (в мг/кг воздушно-сухого вещества): *Zn, Fe, Mo, Co, B*.

5. Для генетического контроля зон воздействия мутагенов проводятся оценки изменений популяций по структуре фенофона индикаторных видов, качеству репродуктивности, хромосомным aberrациям.

Расширенная номенклатура оптимизируется в условиях полигонов. По уточненной номенклатуре исследования проводятся один раз в 5 лет.

Наблюдение за состоянием атмосферы. На полигонах ежегодно определяются следующие интегральные показатели обязательной номенклатуры.

1. Показатель загрязнения атмосферы диоксидом серы - обилие эпифитных лишайников и проективное покрытие у основания деревьев и на высоте 1.5 м по типам роста (накипных, листоватых, кустистых). Отдельно отмечается проективное покрытие видов *Usnea, Alectoria, Cetraria*.

2. Устойчивость к техногенному загрязнению биоиндикатора (*Pinus Silvestris*): доля некрозной и хлорозной хвои, степень деградации деревьев (уменьшение плотности кроны, количество мертвых мутовок на стволе и продолжительность жизни хвои); анатомическая структура хвоинок сосны лесной (построение гистограмм по гистологическим срезам).

3. Общее содержание тяжелых металлов в индикаторах: хвое (*Pinus Silvestris*) и мхах (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*).

4. Химический состав снегового покрова - сульфаты, соединения азота, твердая фаза, общее солесодержание, кислотность.

При организации стационарного поста дополнительно проводится определение промышленных загрязняющих веществ по стандартной программе (взвешенные частицы, CO, NO_x, SO₂), а также бенз(а)пирен.

Наблюдение за состоянием поверхностных вод. На полигонах наблюдение за состоянием поверхностных вод проводят по показателям обязательной номенклатуры, определяемых ежегодно (в створах ведомственных наблюдений - в соответствии с графиком).

1. Гидробионты для определения интегральных показателей, состояние пресноводных экосистем - естественное развитие фито-, зоопланктона и зообентоса, соотношение численности и биомассы диатомовых и зеленых водорослей (по Э.А. Штиной).

2. При организации стационара на полигоне дополнительно определяются показатели по графику наблюдений: содержание токсичных веществ первого – четвертого классов опасности, растворенного кислорода; определяется рН, БПК-5, ХПК, органолептические характеристики (запах, вкус, примеси) и биотический индекс (по Вудивиссу).

7.4. Документирование данных мониторинга на территории ОП

Важным моментом в организации мониторинга является документирование описания территории ОП. При наличии широкого охвата по ведомствам, проведение регулярных инвентаризаций с периодической актуализацией данных, по сути своей, и представляет комплексный мониторинг. Это должно проводиться по всей совокупности данных абонентов сети и позволяет далее делать оценки экологического качества территории. При доступе к базе данных территории ОП должны выполняться два требования:

- единство данных. Показатели представляются в формализованном виде в виде базы данных экопаспорта территории (показателей параметров экосистем и воздействий плюс оценки, даваемые средствами сетевого ПО и экспертами);

- возможность управления базами данных на персональной ЭВМ, которая обеспечивает связь с центральным файловым сервером РИАЦ, либо с локальными серверами баз данных, пакетной обработки данных и др. СУБД рабочей станции сети должна быть способна согласовать между собой многие варианты операционных систем, а также работу с большими приложениями.

Естественным является использование для отчетности локального уровня РГСЭМ механизма экологической паспортизации [155]. Блок экопаспортизации организован четырьмя иерархическими уровнями, связанных потоками информации: банк первичных экологических данных предприятий (экопаспорт природопользователей), городов, административных районов, промзон (экопаспорт производственных и административно-производственных конгломератов) и банк первичных экологических данных области (экопаспорт области). Связующую роль выполняет банк первичных экологических данных паспортизации. Экологическая паспортизация включает паспорта предприятий и территорий. Так например, в Кировской области экопаспорт территорий по структуре состоит из ежегодно заполняемых разделов: общие сведения, антропогенный фактор, характеристика минеральных сырьевых ресурсов,

атмосферный воздух, сырьевые ресурсы растительного мира, животного мира, охраняемые природные территории, отходы, госконтроль и регулирование использования ресурсов, показатели экономического и социального развития, данные здравоохранения [155]. Экопаспорт территорий должен быть включен в инвентаризационный раздел экопаспорта - документа РГСЭМ.

Согласно концепции биомониторинга [6] экопаспорт должен содержать: кадастр биологических ресурсов; экопаспорта предприятий; оценки состояния здоровья населения; санитарно-гигиенического состояния урбокомплексов; медико-демографическую характеристику; влияния хозяйственной деятельности на экосистемы; классификации факторов неблагоприятного воздействия, районирование территории по естественно-географическим и хозяйственным признакам; экономическую оценку эколого-ресурсного потенциала; состояния здоровья населения, природной среды и хозяйственной деятельности.

Кадастр биоресурсов территорий включает инвентаризацию почв и их продуктивности, запасов древесины, технического и лекарственного сырья, ресурсов грибов, ягод, продукции животного происхождения, бонитировки ресурсов и др. Экологический паспорт ОП содержит программу наблюдений, данные анализа экспедиционных материалов и оценку окружающей среды.

Заполнение экологического паспорта ОП проводится по следующим видам работ: физико-географическое, ландшафтное, геоморфологическое и ботаническое описание; обследование территории ОП с помощью космосъемки; выбор ключевых участков; оценка территории ОП по трем группам показателей (долгосрочной, краткосрочной и ранней диагностики почв); оценка территории ОП по наблюдениям за биотой (индикаторы состояния ценопопуляций древесных и травянистых растений, роста и развития древесных растений, индикаторы почвенной биоты); оценка состояния атмосферного воздуха по интегральным показателям (загрязнения диоксидом серы по эпифитным лишайникам, устойчивости к загрязнению по состоянию сосны лесной, содержания тяжелых металлов во мхах, загрязнения сульфатами, соединениями азота, твердыми частицами, солесодержанию и кислотности в снеговом покрове); оценка поверхностных вод (по гидробионтам и их химическому составу, фито-, зоопланктону и зообентосу, пробам воды и донных осадков).

Заполнение экопаспорта по данным ведомств : оценка ландшафтов с помощью данных Управления лесами, Ассоциации "Вятский лес" и КирНИЛП по показателям площади коренных ассоциаций, лесистости, гибели лесных культур, доли площадей посевов и лесопосадок, поврежденных вредителями; средних площадях элементарного выдела, распределению площадей элементарных выделов по градациям; биоразнообразию; размерам рубки, площадям лесовосстановительных работ, ухода за лесом, лесов, нарушенных стихийными бедствиями, запасам древесины, заболеваниям и полноте древостоя, степени инсуляризации территории, появлению тератологических отклонений и возрасту ценопопуляций доминантов (возобновлению).

- оценка ОП по данным Комитета по земельным ресурсам и землеустройству, Департамента сельского хозяйства, АХЦ "Кировский", ЦГСЭМ, ВГСХА: агрофизические и агрохимические характеристики почв, содержание гумуса, уровень грунтовых вод, загрязнение почв, состояние

экосистем по показателям площадей (земли, занятые под пашни, пастбища, мелиорированные угодья, искусственные водоемы, сбитые пастбища, земли с неблагоприятными агромелиоративными условиями, занятые населенными пунктами и транспортными магистралями, подверженные водной и ветровой эрозии, обнаженные коренные породы, задернованность песчаных почв, развитие вредителей в посевах, гибель посевов, расчлененность оврагами), продуктивность пастбищ и их перегрузка, засоренность агроценозов сорными и адвентивными видами;

- оценка водных источников ОП проводится по показателям ЦГСЭМ, Комитета по природным ресурсам, Облгоскомэкологии, АХЦ "Кировский", гидрорежимного участка - ресурсы поверхностных вод, модуль поверхностного стока, средний уровень подземных вод, показатели состояния и показатели загрязнения поверхностных и подземных вод;

- оценка состояния атмосферы ОП проводится ЦГСЭМ по данным ближайших метеостанций (температура, направление и скорость ветра, давление, влажность, солнечная радиация, облачность, количество осадков).

Поскольку разделы и показатели экопаспорта территорий в модели РГСЭМ должны исходить из целей мониторинга и структурных особенностей его целевого функционирования, то в экопаспорте требуются инвентаризационный и квалиметрический разделы. Отметим, что картографическая часть экопаспорта ОП (электронной версии) должна выполняться в среде ГИС.

Инвентаризационный раздел экопаспорта территории ОП. Эта часть ориентирована на целевую функцию предоставления информационных ресурсов по данной территории абонентам сети РГСЭМ. Показатели ведомств, аккредитованных в РГСЭМ в инвентаризационном разделе экопаспорта территории делятся: на общие (стандартный набор для всей области) и специальные (средства контроля факторов, с учетом специфики территории).

Показатели экопаспорта территорий РГСЭМ, полученные на основе данных ведомств и научных исследований, включают: описание экосистем территории (геоморфология, климат, почвы, инвентаризация биологических ресурсов, данные здравоохранения и санитарного состояния территории); описание социального здоровья территории (социум, экономика, демография, заболеваемость и т.д); показатели позиций экопаспортов предприятий по антропогенным воздействиям на территории.

Квалиметрический раздел экопаспорта территории. В этой части представлены сформированные в моделях комплексные оценки природной среды, здоровья населения и "веса" экзогенных факторов. Контроль экологической обстановки в квалиметрическом разделе экопаспорта территории - сопоставление полученных опытным и расчетным путями показателей, характеризующих экологическую обстановку с заранее установленными критериями и нормативами. Отдельными блоками представлены экономические оценки ресурсного потенциала, качества экологической обстановки, в том числе сертификация экологического качества местности (через ненарушенность экосистем и условия существования населения).

В квалитетическом разделе экопаспорта территории оценка экологической обстановки территории фиксируется по наборам однопараметрических критериев и нормативов. Так, при определении биологической продуктивности по видам-индикаторам необходим стандартный набор показателей.

При оценкам территории по структуре сообществ - оптимальное соотношение видов и биомассы популяций на разных трофических уровнях - используется сравнение с соответствующим критерием оптимума - индексом разнообразия, степенью сходства ценозов по Жаккару, по расстояниям Махалобиса и т.д. Аналогично отображают оценки трендов изменений биоты, и антропогенно-измененные площади (по Б.В. Виноградову [12]).

Методико-метрологический раздел экопаспорта. В методико-метрологическом разделе представлены: обоснование необходимости в дополнительных показателях сверх стандартной программы; районирование территории описания по моделям структурной однородности района (почвенной, биоценотической и т.д.).

Формирование системы параметров экомониторинга далеко от завершения. Для ее дальнейшей оптимизации интерес представляют перечни показателей, предложенные для Кировской области ИЭРиЖ г. Екатеринбурга [147,100] - оценки состояния лесных и луговых экосистем по ярусам и функциональным блокам (основных и коррелятивных, приоритетных и взаимозаменяемых). Определена адаптированная к условиям южной тайги номенклатура (в том числе, интегральных показателей), для оценки фоновых и импактных территорий. В систему включены автотрофные организмы (древесные и травянистые растения), сапротрофные организмы (почвенные микроорганизмы и мезофауна), консументы (млекопитающие, птицы) и лишайники (как наиболее чувствительные индикаторы загрязнения окружающей среды).

7.5. Зонирование территорий на импактном уровне

Согласно требований к территориальной подсистеме РГСЭМ [1] ее конфигурация и конкретные задачи должны определяться территориальными органами государственного управления, исходя из фактической экологической обстановки, ландшафта и урбанизации территории, характера источников антропогенного воздействия на экологическую обстановку, природных объектов и ресурсов, а также из возможностей возникновения и вероятных масштабов чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями. В каждом из регионов имеются импактные территории локального уровня РГСЭМ, со своей спецификой воздействий на окружающую среду, где необходима организация полигонов экологического контроля. Их назначение - мониторинг границ и интенсивности очагов воздействия, а также прогноз антропогенных сдвигов в состоянии экосистем.

В Кировской области необходимо создание следующих полигонов: Гадовского (для контроля бассейна р.Вятки в районе Кирово-Кирово-Чепецкой агломерации); Мотоусовского (природного комплекса бассейна р.Чепцы); Марадыковского (зоны воздействия складов с ОВ); Сосновского (бассейна

нижнего течения р.Вятки, в зоне воздействия складов с ОВ в п.Кизнер); Юрьянского (зон воздействия со стороны войсковых частей); Кильмезского (участка захоронений пестицидов); Золотаревского (зоны нефтедобычи).

Для Кировской области одной из приоритетных экологических проблем является наличие зон хранения/уничтожения) боевых отравляющих веществ (ОВ) в районах п.Марадыковский и п. Кизнер (Удмуртия). В связи с планируемым уничтожением ОВ, что требует разработки систем мониторинга, необходимо изучение «стартового состояния» биотопов. Аналогичная работа по оценке экосистем проводится в районе г. Чапаевска [156], п. Горного [157] и в остальных местах хранения и уничтожения химического оружия.

В настоящее время в России имеется семь регионов, имеющих склады химического оружия, в которых в ближайшее время начнется его уничтожение, и где необходима организация комплексного мониторинга. В Кировской области имеется две таких зоны - в районе п.Марадыковский (17,4% Российских запасов, зарина, зомана, вязкого Vx и иприт-люизитной смеси) и район п. Кизнер на границе с Удмуртской (14,2% запасов ОВ).

Проводившееся уничтожение ипритно-люизитной смеси сопровождалось эмиссией арсенидов, но поиск их следов в верхних горизонтах почв не дал результата [158]. Это требует нахождения маркеров продуктов пиролиза и зонирования по ним территории для организации экологического мониторинга.

Длительное (порядка 50 лет) хранение, обслуживание и уничтожение ОВ породили ряд экологических проблем, связанных с депонированием химических веществ и их трансформантов в природном комплексе. Так проводившееся в 1985-1991гг. в районе п. Марадыковский на установке "Долина" уничтожение смеси иприт-люизит эмиттировало в атмосферу соединения мышьяка, могущего накапливаться на геохимических барьерах: сероводородном (в торфянисто-болотных почвах), адсорбционном (иллювиальном) и биогеохимическом (гумусовом). Почвы в данном районе дерново-подзолистые, глееватые, формирующиеся в наносах (пески, подстилаемые элювием коренных пермских глин и мергелей), кислые, с низким содержанием элементов питания, гумуса (гуматно-фульватного типа), малой емкостью поглощения. Несмотря на то, что для почв разного генезиса наиболее богат мышьяком горизонт *A*, попытки обнаружения *As* в нем и в легких субстратах (супесях) были безрезультатны [158].

В поиске маркера воздействия ОВ испытывалось наличие мышьяка в депонирующих средах: на биогеохимическом барьере горизонтов *A*, на адсорбционном барьере иллювиальных горизонтов *B* подзолистых почв, где обычно наблюдается второй максимум концентраций, а также в биоаккумуляторах - лесных мхах и эпифитных лишайниках.

Проведен пробоотбор почв с горизонтов *A* в 16 точках в радиусе 5 км от складов ОВ и установки "Долина". Химический анализ (методом ААС) не выявил содержания *As* выше кларков на биогеохимическом (гумусовом) барьере через 6 лет после окончания эмиссии содержащих мышьяк продуктов.

Заложено два ключевых участка (1- 1,5 км от установки «Долина»).

Референтный ключевой участок выбран в луговом биоценозе на залежном паровом поле под злаково-разнотравным лугом в верхней выровненной части низкого водораздела, прилегающего к террасированной долине

р.Вятки. Увлажнение атмосферное, достаточное, почвенно-грунтовые воды не обнаружены. Разрез - дерново-сильнопodzолистая супесчаная осушенная почва на водно-ледниковых песках и супесях подстилаемых на глубине более 50 см элювием глин. За оценку взято превышение содержания подвижных форм k -тяжелых металлов в почве $\mu^{(k)}$ в депонирующем горизонте n_D над средними концентрациями n_{cp} на N -вышележащих уровнях $\mu^{(k)} = N \cdot n_D / n_{cp}$.

Данные анализа почвы приведены в табл.7.1.

Тестовый ключевой участок выбран на таволговом лугу среди елово-березово-осинового леса на цокольной террасе р.Вятки. Увлажнение атмосферно-грунтовое, избыточное; почвенно-грунтовые воды на глубине 140 см. Разрез - дерновая глеевая многоярусная супесчаная почва на древнем аллювии, подстилаемом на глубине до 50 см элювием глин. Данные химического анализа почвы приведены в табл.7.1

Таблица 7.1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Горизонт, см	PH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni	As	Тип *
Референтный ключевой участок										
A ₁ (0 -29)	5,9	24,2	0,13	1,83	0,07	2,41	19,5	0,78	0,75	СП
A ₁ A ₂ (30 - 40)	6,1	23,8	0,17	2,8	0,78	1,48	10,9	0,21	0,65	СП
B ₁ (50 -60)	6,8	27,5	0,19	0,81	0,00	0,87	2,66	0,43	0,79	СП
B ₂ (80 - 90)	6,4	27,6	0,60	0,61	0,07	1,19	7,6	1,16	0,99	Г
B ₂ C (105 -115)	7,6	22,2	0,69	0,34	0,11	3,65	52,0	0,59	11,8	Г
C (120 - 170)	7,8								0,18	Г
Интегральная	6,5	28,1	0,22	1,13	0,20	2,64	172	0,88	-	
Кратность μ		0,86	2,53	0,20	0,50	2,45	5,11	0,91	14,8	
Тестовый ключевой участок										
A _{1g} (1 - 24)	6,2	52,6	0,27	1,22	0,16	2,65	62,0	1,17	0,54	СП
g (27 - 37)	6,5	55,4	0,26	1,44	0,29	2,6	12,3	1,24	1,13	СС
A ₂ B _g (30-40)	6,8	29,0	0,19	0,55	0,06	2,26	4,44	1,1	1,44	СП
B _g (60 - 70)	6,8	27,0	0,97	0,4	0,1	2,16	25,9	1,21	8,64	ТС
B ₂ C (85 -95)	8,0	24,0	2,49	0,81	0,16	4,39	328	1,15	0,17	Г
C (130 - 140)	8,0								0,76	Г
Кратность μ		0,59	4,04	0,91	0,59	0,86	0,99	1,03	8,33	

* СП - супесчаный, СС и ТС – средне- и тяжелосуглинистый, Г- глинистый.

Итак, согласно табл. 7.1, рис.7.1 и 7.2 концентрации мышьяка в иллювиальных горизонтах на порядок превышают значения на N -вышележащих уровнях, в отличие от остальных элементов, как на тестовом ($\mu=8,3$), так и на референтном ($\mu=14,8$), ключевых участках. Для сравнения отметим, что в мире средний фон мышьяка в почвах составляет (мг/кг) 2,9; в Европейской части России 1,8-2,1 – в кислых породах 1,5-2,0, в осадочных глинистых до 5 [159].

3. Оценка наличия *As* в бриоаккумуляторах - лесных мхах

Фоновое содержание мышьяка во мхах обусловлено вулканической деятельностью (Исландия - 3,6 мг/кг, Гренландия – 2,0), захватом терригенных частиц и, локально, техногенным происхождением, причем мышьяк довольно медленно накапливается во мхах. Вариации от фоновых районов к загрязненным составляют в Норвегии 0,2 - 1,4 мг/кг, в Дании 0,6-0,8, в Финляндии 0,2-0,6 [102]. Для изучения пригодности лесных мхов в качестве маркера продуктов пиролиза ипритно-люизитной смеси по наличию мышьяка проведено обследование территории вокруг установки "Долина" в радиусе до 5 км. Взяты образцы мхов *Pleurozium Srebery* и *Gilocomium splendens*. Для этих видов коэффициент накопления мышьяка при выпадениях на покров $\eta = 32\%$, согласно данным работы [102]. На рис. 7.3 показано зонирование территории на три уровня по содержанию мышьяка во мхах, где отчетливо проявляется очаговый характер выпадений (их радиальный градиент к источнику эмиссии).

Оценка территории по состоянию лишенофлоры

Оценка лишенофлоры в лесах вокруг установки "Долина", отмечает ее бедность (единственный вид - *Gypogimnia physodies*). На талломах отмечаются некрозы, отслеживается радиальный (от пиролизной установки) градиент обилия лишайников. Собраны пробы *Gypogimnia physodies* для определения содержания мышьяка, однако последний не обнаружен (методом ААС). С наветренной стороны на расстоянии 2-5 км от источника наряду с *Gypogimnia* изредка встречается *Evernia*, а с подветренной стороны на расстоянии до 1-2 км от источника эмиссии – «лишайниковая пустыня», а молодые (2 - 5 лет) особи кустистых видов (*Usnea*) спорадически появляются на расстоянии свыше 10км.

Расчет дистанций между структурами функций распределения частот степени покрытия исследуемых популяций *Gypogimnia physodies* и стандартным фоном (см. п.4.4), проводился по формуле $d_e^2 = 0,5[(a_1)^2 + (a_2)^2 + (a_3)^2 + (1-a_4)^2]$. Данные для ряда сосновых боров с учетом повторяемости ветра $u_e(R)$, расстояний от источника эмиссии и различных азимутов приведены в табл.7.2. и картографированы на рис.7.4.

Таблица 7.2

Привязка точки Наблюдения	Доля деревьев по бинам частот				d_e^2	u_e	r (км)	Ази мут
	0-5 %	5-20%	20-50%	> 50%				
оз. Лопата	0,219	0,512	0,256	0,012	0,67	12	15,5	180
р. Холуница	0,262	0,333	0,366	0,037	0,62	23	7	40
д. Свистоки	0,123	0,149	0,590	0,136	0,56	24	17	45
103 квартал	0,366	0,143	0,228	0,261	0,38	23	21,5	40
д. Болванская	0,041	0,228	0,448	0,281	0,39	15	17	340
с. Молотниково	0	0,036	0,432	0,530	0,20	8	21	285
д. Марадыково	1	0	0	0	1,0	11	2	90

Большинство моделей переноса загрязнителей имеет экспоненциальный характер выпадений с расстоянием от источника r , и поиск решения для данных табл.7.2 в модели вида: $\ln(d_e^2/u_e(R)) = br$ приводит к значимому (по Фишеру) решению: $b = -0,059 \pm 0,025$, при коэффициенте корреляции 0,73.



Рис. 7.1. Относительные характеристики содержания элементов в генетических горизонтах почв (μ для мышьяка > 14)



Рис. 7.2. Относительные характеристики содержания элементов в генетических горизонтах почв (μ для мышьяка > 8)

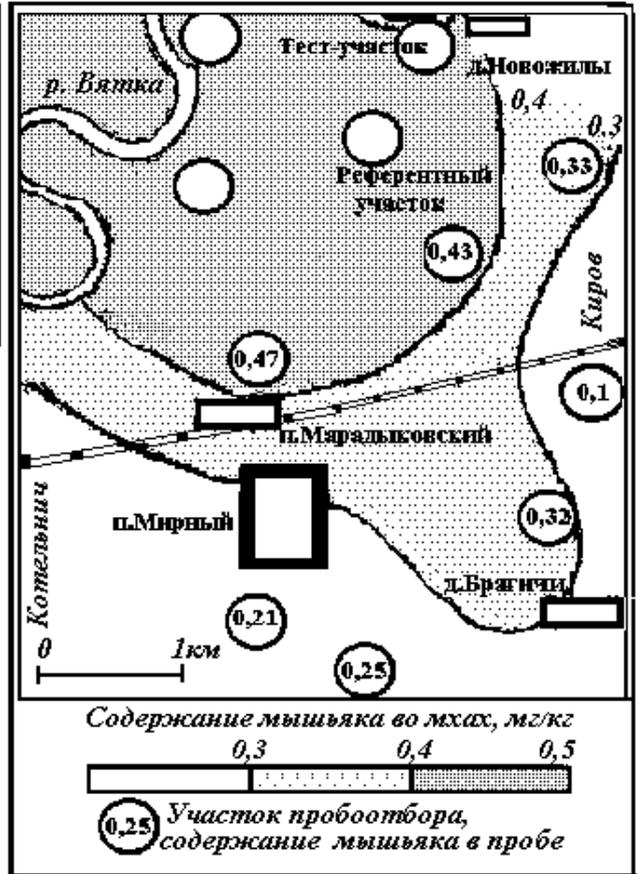


Рис. 7.3. Зоны выпадений мышьяка на моховой покров (монитор - *Pleurozium Srebeni*, $\eta = 32\%$)

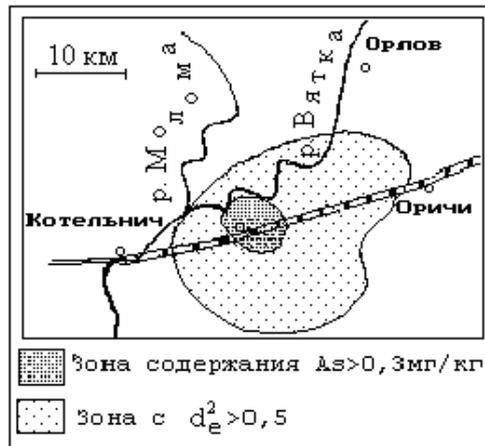


Рис. 7.4. Зонирование территории по содержанию мышьяка во мхах и данным лишеноиндикации

Таким образом, среди показателей мониторинга продуктов пиролиза ип-ритно-люизитной смеси, отметим содержание мышьяка во мхах *Gilocomium splendens* и *Pleurozium Srebery* и покрытие сосен эпифитами *Gypogimnia physodies*. Химический анализ проб мхов и оценка состояния лишенофлоры позволил выделить зоны на территории в окрестностях п. Марадыковский и шкалировать их на уровни аэрогенных выпадений (рис 54 б).

7.6. Опорные полигоны РГСЭМ. Обследование природных условий

Согласно концепции РГСЭМ территории опорных полигонов устанавливаются в границах соответствующих заповедных зон. Целями функционирования опорных полигонов регионального фона РГСЭМ являются:

- контрольная функция для выявления сдвигов в состоянии экосистем типологически однородных территорий под действием антропогенных факторов;
- осуществление прогноза изменений в экосистемах данных территорий.

В Кировской области организуются следующие опорные полигоны: Кайский ОП, на основе заказника "Былина" расположенный в болотном природном комплексе Моломо-Лузского ландшафтного округа; Тулашорский ОП, расположенный в среднетаежном природном комплексе Северных Увалов; Нургушский ОП, на основе заповедника "Нургуш" в Вятско-Ветлужском ландшафтном округе; Атарский ОП, на основе проектируемого национального парка "Атарская лука" в подзоне хвойно-широколиственных лесов.

В 1997 - 1998 гг. проведены экспедиционно-полевые исследования территорий ОП – «Нургуш» – Котельничский район и «Былины» – Подосиновский район. В ходе экспедиций проведено физико-географическое и ландшафтное обследование ОП, описан макро- и мезорельеф, определены типы почв. Заложены ключевые участки, на которых выполнены следующие работы:

- произведено геоботаническое описание ключевого участка – количественный учет, видовое разнообразие высших растений и оценка состояния природных сред и объектов по флористическим данным;
- на лесных участках проведены исследования состояния эпифитной лишенофлоры (оценка видового разнообразия, обилия и степени покрытия);
- проведены исследования подроста *Pinus Silvestris* (оценка длины центрального побега за последние 3 – 5 лет, и состояние хвои по 200 деревьям);
- отобраны образцы почвы, воды, мхов мхов (*Gilocomium splendens* и *Pleurozium Srebery*), лишайников и для химических, альгологических и палинологических исследований для диагностики чистоты воздуха;
- на прилегающих территориях собраны пробы 20 видов цветущих растений для анализа состояния пыльцы (установления реперных уровней соматических и генетических изменений в генеративных органах);
- для изучения водорослей взяты планктон и бентос (с листьев кубышки желтой, кувшинки чисто-белой, рдеста блестящего, рдеста пронзеннолистного, элодеи канадской, а также с ила и подводных предметов).
- проведено изучение мощности лесной подстилки, как интегрального показателя незавершенности биогеохимических циклов в лесной экосистеме.

Помимо толщины, оценивается и качество подстилки (учитываются слои L и F, слой H и свежий опад не рассматриваются);

- выполнен и описан полнопрофильный почвенный разрез. В задачи изучения состояния почв входило: выявление факторов генезиса почв, ответственных за возникновение экологически неблагоприятной ситуации; установление параметров допустимого антропогенного воздействия на почвенный покров с учетом его буферных способностей; слежение за техногенным загрязнением почвенного покрова в зонах воздействия промышленных объектов и агломераций; организация почвенного контроля почв фоновых территорий. В рамках долгосрочной диагностики почв проведена оценка морфологических и физических свойств почв; фундаментальных свойств почв – валового состава, включая валовое содержание почвенных минералов и тяжелых металлов (и подвижные формы) и; содержание и запасы гумуса; фракционного состава гумуса, катионо-обменных свойств почв; содержание доступных для растений форм элементов питания; кислоторастворимых соединений кальция, магния, железа, алюминия.

Методами химического анализа сделана оценка загрязнения поверхностных водотоков, содержания тяжелых металлов (и мышьяка) в почвенных горизонтах и загрязнения ими мхов на территориях ОП.

Для обеспечения многолетних наблюдений на одних и тех же ключевых участках экологическими экспедициями возникает задача как их надежной идентификации, так и удобных средств поиска. Опыт решения задач определения координат местонахождения ключевых участков РГСЭМ показал, что наиболее оптимально применение приемников глобальной спутниковой радионавигационной системы *GPS* (использовался приемник *Magellan GPS 2000*). В процессе работы с приемником решались две задачи – определение координат ключевых участков на ОП и настройки прибора (нахождение погрешности измерения и величин поправок к параметрам используемого геоида (*WGS-84*)).

7.6.1. Опорный полигон «Нургуш»

Опорный полигон мониторинга "Нургуш" [178] расположен на территории одноименного государственного природного заповедника, расположенного в пойме среднего течения р. Вятка, отличающейся сложным рельефом, обилием озер-стариц, переувлажненных и заболоченных участков. В системе физико-географического районирования входит в состав Вятско-Ветлужского округа. Абсолютные высоты поверхности поймы составляют около 85 – 90 м над уровнем моря. Рельеф заповедника типично пойменного характера. Высота поймы над урезом воды в р.Вятке около 5-6м. Относительно плоский рельеф поймы осложнен множеством грив и межгривных понижений, с относительной высотой 1- 4 м. На территории заповедника насчитывается более 60 озер.

Территория характеризуется умеренно-континентальным восточноевропейским южно-таежным типом климата. Среднегодовые температуры около 1,5°C, среднеянварские - 14,4°C, среднеиюльские - 17,9°C. Сумма осадков за год около 580 мм, максимум летний. Коэффициент

увлажнения за год 1,2, в летний сезон - 0,8. Сумма активных температур 1800°C. Вегетационный период 160 дней, безморозный - 115 дней. Продолжительность летнего сезона примерно 70 дней.

В экспедициях 1997 и 1998 гг. было заложено 13 ключевых участков мониторинга с выполнением почвенных разрезов на пойменных и террасных угодьях. Ключевые почвенные разрезы заложены под основными, характерными для заповедника растительными группировками. В 1997-1998 г. отобрано свыше 110 образцов почв на различные виды лабораторных анализов. Разрезы почв принадлежат к аллювиальному дерновому типу и подтипу почв, представлены зернистыми средне- и малогумусными видами, тяжелосуглинистой и глинистой разновидностями, сформированными на современном песчаном аллювии. Несмотря на таксономическое сходство, почвы существенно отличаются между собой по мощности гумусоаккумулятивной толщи профиля (от 11 до 40 см), вследствие влияния формирующихся на них фитоценозов. Почвы относятся к группе азональных, на формирование и свойства которых оказывает сильное влияние пойменно-аллювиальный процесс.

Растительность ОП разнообразна по видам и отличается высокой биомассой. Древесно-кустарниковая флора насчитывает более 40 видов: почти все виды хвойных, за исключением лиственницы, мелколиственных (береза, осина, ольха, черный тополь) и широколиственных (липа, вяз, дуб, клен) древесных пород. Из кустарников обычны различные виды ивы, рябина, черемуха, крушина, жимолость, калина, бузина, шиповник, смородина, малина, бересклет, дерен татарский, волчье лыко. Луговые поляны отличаются видовым богатством злаков и разнотравья. На территории заповедника в целом наблюдается господство древесного типа растительности над лугами. Древостои образуют азональные растительные группировки – смешанные (хвойно-широколиственные) леса, неизвестные в этих широтах на соседних водораздельных ландшафтах. Встречаются небольшие участки с доминированием дуба, липы или вяза. Среди них первые образуют более однородные в видовом отношении древостои.

На опорном полигоне мониторинга "Нургуш" заложены ключевые участки, представляющие следующие растительные ассоциации: сосняк зеленомошник, брусничник (расположен на ровной слабобугристой поверхности первой надпойменной террасы р.Вятки. Почва – дерново-среднеподзолистая супесчаная на древнем аллювии. Площадь: 2500 м²); дубняк бобово-разнотравно-злаковый (расположен на ровной поверхности центральной поймы р.Вятки. Почва – силлювиальная дерновая зернистая среднегумусная тяжелосуглинистая на современном аллювии. Площадь участка – 470 м²); липняк крапиво-страусовый (в верхней части гривы центральной поймы р.Вятки. Почва – аллювиальная дерновая зернистая среднегумусная глинистая на современном аллювии); клеверо-разнотравный луг (формула почвы: А³gt, площадь 450 кв. метров); липняк разнотравно-злаковый (формула почвы: А³gtА); злаково-разнотравный луг (на ровной поверхности центральной поймы р.Вятки. Почва – аллювиальная дерновая зернистая среднегумусная тяжелосуглинистая на современном аллювии); вязово-липовый лес с участием ели (на ровном участке центральной поймы р.Вятки).

Таблица 7.3

Ассоциация: сосняк зеленомошник брусничник. Формула почвы: $П_2^3УО$.

Горизонт	PH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₁	4,3	79,9	0,14	3,74	2,22	0,89	59,8	0,67
A ₁ A ₂	4,8	25,4	0,14	0,28	0,01	1,12	13,4	0
B ₁	5,05	17,7	0,088	0	0	1,02	5,56	0
B ₂	5,25	20,0	0,062	0	0,02	1,18	5,88	0,22
B ₂ C	5,9	23,7	0,57	0	0,039	0,89	7,76	0

Ассоциация: дубняк бобово-разнотравно-злаковый. Формула почвы $Ag^3тА$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₁	4,75	67,4	0,28	0,81	0,2	2,09	154	4,36
B ₁	3,75	78,8	0,667	0,26	0,08	1,43	40,9	5,93
B ₂	3,85	53,6	0,448	0,03	0,055	0,8	10,2	1,72
B ₃ B ₄	4,5	32,6	0,206	0.	0,035	0,43	8,14	0,42
B ₄ C	4,1	49,8	0,353	0,32	0,108	0,89	13,2	1,38
Интегральная пр.	4,95	55,9	0,29	3,30	0,25	1,98	276	4,11

Ассоциация - липняк крапиво-страусовый. Формула почвы: $A^3ггА$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₁	4,25	235	0,658	3,07	0,214	5,25	514	7,1
A ₁ B	3,9	333	0,462	2,47	0,182	1,14	690	6,98
B ₂	6,0	194	0,389	2,23	0,25	5,79	313	5,14
B ₃	4,0	178	0,547	1,23	0,08	4,49	275	5,98
B ₃ C	4,15	84	0,573	0,61	0,08	0,78	15,8	1,83
Интегр.проба	5,0	304	0,855	12,9	0,476	4,7	931	4,26

Группа ассоциаций – клеверо-разнотравный луг. Формула почвы: $A^3гтА$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₁	4,9	58,72	0,414	1,77	0,211	1,2	92,6	3,37
A ₁	4,6	98	0,436	1,93	0,115	0,769	71,2	4,14
B ₁	4,6	100	0,603	1,77	1,31	1,23	19,2	3,12
B ₂	4,35	106	0,73	2,19	0,004	3,67	24,3	4,52
B ₂ g	3,9	160	0,794	1,26	0,064	1,36	44,0	7,87
B ₄	3,8	160	0,593	1,61	0,02	0,32	9,62	4,28
B ₄ C	4,1	89,1	0,442	0,36	0	0	2,38	2,02
Интегр.пр	6,1	10,0	0,216	4,34	0,243	1,21	198	1,36

Ассоциация – липняк разнотравно-злаковый. Формула почвы: $A^3гтА$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni	As
A ₁	5,8	15,6	0,19	1,75	0,087	2,36	77,9	1,04	0
A ₁	4,9	72,9	0,88	0,78	0,107	1,81	30,0	2,42	0
B ₁	5,35	48,5	0,60	1,19	0,081	2,42	31,2	2,70	0
B ₂	5,3	57,1	0,97	0,88	0,157	6,56	36,8	2,60	0
B ₂ g	5,75	50,7	0,53	1,40	0,056	0,66	15,0	0,89	0
B ₄	5,85	47,0	0,47	0,53	0,072	1,86	7,74	1,68	0
B ₄ C	5,9	46,2	0,53	0,50	0,004	2,2	8,4	0,89	0

Почва – аллювиальная дерновая зернистая тяжелосуглинистая (грунтово-иловая) на современном аллювии). Разнотравно-злаковый луг (береговой обрыв на поверхности прирусловой поймы р.Вятки. Почва – аллювиальная дерновая малогумусная легкосуглинистая на современном аллювии).

Фоновое содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) некоторых почвенных разрезов различных растительных ассоциаций ОП "Нургуш" приведено в табл.7.3. Для ряда разрезов в последней строке приведены концентрации металлов в интегральной пробе (горизонты А).

7.6.2. Опорный полигон «Былина»

Кайский полигон регионального фона ("Былина") [178] расположен в междуречье р.Моломы и ее притока р.Былины в пределах Моломо-Лузского ландшафтного круга, на северо-западе Кировской области. Климат ОП является умеренно-континентальным, среднетаежным. Среднегодовые температуры около 1С°, среднеянварские - 14,4С°, среднеиюльские 16,4С°. Годовая норма осадков около 610 мм с летним максимумом. Среднегодовой коэффициент увлажнения - 1,35, в летний сезон - 0,6-1,0. Сумма активных температур около 1550-1600°С. Вегетационный период 155-160 дней, безморозный - 110 дней. Продолжительность летнего сезона порядка 55 дней.

Территория ОП расположена на южной окраине Северодвинской низменной зандровой равнины, прилегающей к наклонной Маромицкой равнине северной периферии гряды Северных Увалов. Абсолютные высоты варьируются в пределах 170-140 м, относительные около 10-30 м. Долины рек слабоврезаны и часть сильно заболочены. Слабая пересеченность рельефа, в сочетании с избыточным увлажнением и водоупорными свойствами почво-грунтов - основные причины повсеместного проявления современного заболачивания.

Территория ОП сложена, главным образом, красно-коричневыми отложениями, оставленными Московским ледником, мощностью до нескольких метров с обилием валунного материала (5-25% объема), представленного гранитами, гнейсами, диоритами, габбро, диабазами, нефелиновыми сиенитами. Морена на значительных площадях перекрыта маломощными (до 1 м и более) слабосортированными хрящеватыми водно-ледниковыми наносами, образуя однородные песчаные или двучленные - песчано-суглинистые комплексы пород, являющимися материнскими для формирующихся здесь почв. В долинах рек в качестве материнских представлены современные аллювиальные и древнеаллювиальные террасные отложения песчано-глинистого состава. Независимо от генезиса все почвообразующие породы сильно выщелочены. ОП "Былина" расположен в подзоне средней тайги. Зональными типами почв являются подзолистые и подзолы. Вследствие избыточного увлажнения атмосферными водами, при низменном рельефе и водоупорных свойствах пород на плакорных участках водоразделов, их выположенных склонах и подошвах, широко распространены полугидроморфные и гидроморфные типы и подтипы почв. Все они характеризуются кислой реакцией, невысоким содержанием гумуса фульватного состава, низкой емкостью поглощения и содержанием питательных элементов, и, как следствие, низким естественным плодородием.

Таблица 7.4

Ассоциация: ельник черничник Формула почвы: $P_2^{2иж} nB(M)$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₀ '	3,2	16,1	0,15	10,8	0,12	2,24	879	0
A ₀ ''	2,8	18,1	0,12	10,1	0,11	5,35	232	0
A _{2g}	3,7	29,3	0,17	1,0	0,19	1,82	5,95	0
B ₁	4,55	168	0,25	0,88	0	2,9	10,4	0
B _{1g}	4,3	132	0,40	1,18	0,07	4,92	7,0	0,06
B ₂ '	4,8	60,2	0,24	0,53	0,31	4,55	17,4	0,11
B ₂ ''	4,5	37,7	0,37	0,69	0,6	1,15	14,6	0
B _{2C}	4,35	41,3	0,30	0,88	0	1,0	10,3	0,15
Интегральная пр.	3,2	22,4	0,18	13,3	0	9,18	550	0

Ассоциация: ельник хвоцовой-черничный. Формула почвы: $P_4^2 yBM$.

Горизонт	pH	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
A ₀ '	3,2	17,6	0,25	10,1	0,18	5,63	536	0,53
A ₀ ''	2,6	8,58	0,17	2,16	0,17	1,38	52,7	0,84
A _{2g}	4,55	102	0,21	0,49	0,09	0	1,5	0,69
B _{1g}	4,2	105	0,73	1,20	0,09	0,41	16,2	1,27
B _{2g}	4,0	50,0	0,77	0,43	34,6	0,43	23,6	0,86
B _{2C}	4,55	34,6	0,52	0,48	0,06	0	8,9	0,88
Интегральная пр.	3,0	388	0,18	3,68	0,32	3,4	23,7	0,93

Коренными являются еловые, и пихто-еловые леса. Запальными считаются ельники-черничники; на переувлажненных участках - ельники-долгомошники, а на заболоченных низинах - ельники сфагновые. На значительной части еловые леса вырублены и заменены вторичными березняками или березово-осиновыми лесами. На мощных песках ельники замещаются сосновыми лесами (боры брусничники, черничники, долгомошники и сфагновые). Территория ОП практически не освоена в сельскохозяйственном отношении.

На опорном полигоне заложены ключевые участки в верхней и средней части слабовыпуклого водораздела, представляющие следующие растительные ассоциации: ельник черничник (среднеподзолистая, глееватая песчаная почва на водно-ледниковых песках и супесях.); Ельник-черничник с кукушкиным льном (Почва – глубокоподзолистая глееватая супесчаная на водно-ледниковых песках и супесях, подстилаемых с глубины более 50 см мореной бескарбонатной). По морфологическим данным разрезы принадлежат к типу подзолистых оглеенных почв легкого (песчаного и супесчаного) механического состава.

Региональный фон содержания подвижных форм тяжелых металлов в образцах почв (мг/кг) почвенных разрезов различных растительных ассоциаций ОП "Былина" приведен в табл. 7.4.

ГЛАВА 8. МОНИТОРИНГ ПРОСТРАНСТВЕННО - УСТОЙЧИВЫХ ЗОН ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Важнейшими подсистемами региона являются города и сформированные вокруг них высокоурбанизированные среды – агломерации, становящиеся центрами приоритетного развития, с "критическими группами" населения, высоко восприимчивого к загрязнению. Поэтому, согласно требований к РГСЭМ [1], должно быть предусмотрено создание городских подсистем экологического мониторинга, если этого требует экологическая обстановка.

Разработка систем мониторинга на "муниципальном уровне" включает проведение комплексного обследования территории, ее зонирование и херологическую организацию контроля (например городскими станциями биодиагностики, с ключевыми участками на территориях больших парков), выбор показателей – мониторов РГСЭМ и их апробацию. Важнейшим вопросом в параметрическом аспекте РГСЭМ, является нахождение мониторов, отслеживаемых государственными службами и не требующими дополнительных затрат.

Ниже рассмотрены вопросы контроля воздушной среды города в пространственно-параметрическом аспекте мониторинга аэрогенного загрязнения, базирующиеся на опыте проведения комплексного диагностического исследования экологической обстановки в г. Кирове.

8.1. Стационарные общегородские зоны загрязнения атмосферы

В типологической структуре городских агломераций выделяют ядро (центральный город), два пояса спутников, агломерации 2-го порядка, периферийную зону (с рекреационно-емкими районами), транспортные линии [159]. В экологическом аспекте это территории с глубоко измененными природными системами, находящимися под многослойными нагрузками.

В ядре агломерации (городе) произошел «урбанизационный сдвиг» в биогеоценозах, возникли селитебные ландшафты, в ряде случаев имеющие и высокую согласованность городской и природной среды. Специфика селитебного ландшафта определяет его районирование техногенной миграцией элементов, выделяя иерархию пространственных таксонов - предприятий, жилых зон, зеленых насаждений [160], природно-хозяйственных территориальных систем [66] – территориальную организацию мониторинга "муниципального уровня".

С индикаторной стороны, в городе, как очаге социально-экологического напряжения, согласно работам [162] выделяют три зоны влияния на социальное здоровье и соответствующие им патологии – эпицентр (индикаторная), зону среднего влияния (экологически зависимая) и территория умеренного воздействия (экологически обусловленная). Отмечают аллергические заболевания как индикаторные патологии на загрязнение воздуха.

Для реализации целевой функции РГСЭМ – поддержки ЛПР оценки городской среды лучше проводить интегральные, обобщающие частные показатели. Так например территории, характеризующиеся в шкале: "нормальная", "критическая", катастрофическая", можно оценивать на основании критериев - степени трансформации ландшафтов, суммарного загрязнения и экологи-

ресурсного потенциала [161]. Для импактных и фоновых территорий часто анализируют загрязнение снежного покрова [66], который адсорбирует и накапливает поллютанты из атмосферного воздуха. Для длительно действующих стационарных источников между загрязнением снега и почвы имеется связь.

Из техногенных зон региона областной центр - г.Киров, как главный объект [32] требует типологии и зонирования воздействий на воздушную среду, но из-за ее лабильности рассмотрим лишь аспект интегрирующего контроля - биодиагностику и депонирование поллютантов. В агломерации г. Кирова проживает свыше трети населения области, однако в отчетных данных нет оценок воздействий поллютантов на биоту и человека. По оценке состояния атмосферы [120] около 60% поступлений загрязняющих веществ в воздушный бассейн дают стационарные источники, а 40% - автотранспорт. Согласно работе [162] вклад последнего менее значителен (при валовом объеме порядка 50% всех поллютантов!). Отметим, что автотранспортная эмиссия производится в приземный слой атмосферы, где находится основная часть биомассы территории, проживает человек, что делает необходимым выяснение соотношения вкладов мобильных и стационарных источников для зонирования территорий и последующего мониторинга. Таким образом, при организации РГСЭМ необходима типология на "муниципальном" уровне - выделение зон экологической напряженности города по совокупности показателей.

Кроме того, в задачу данного раздела вошел и опыт апробации острых приступов аллергических заболеваний как основных мониторов РГСЭМ, отслеживаемых государственными службами.

8.1.1. Лихенодиагностика зон территории города

Эпифитные лишайники являются наиболее чувствительным компонентом экосистем, и, как следствие, распространенным биоиндикатором загрязнения среды сернистым ангидридом, фторидами, пылью, тяжелыми металлами в значительном диапазоне концентраций поллютантов. Установлено, что основной причиной гибели лишайников в условиях промышленных районов являются газообразные поллютанты, главным образом сернистый ангидрид. Воздействие токсикантов затрагивает фотосинтез, дыхание и другие метаболические процессы. По мере приближения к источнику эмиссии в лишайниковых группировках, находящихся под воздействием промышленных выбросов, снижается видовое богатство, общее проективное покрытие, а также фертильность.

Обычным результатом изучения лишайников на территории городов и промышленных агломераций, являются лихеноиндикационные карты, где зоны деградации лишайниковых группировок, соответствуют степени загрязнения среды следующих видов [37]: распространения отдельных видов; эпифитных синузий, количества видов на станции, параметров группировок (встречаемости, покрытия, жизненности), единиц эпифитной растительности, карты на основе индексов (индекса Де Слувера – Ле Блана, индекса полеотолерантности Трасса), карты по экологической шкале.

Для выявления стационарных общегородских зон загрязнения воздуха по реакциям лишенофлоры территория г.Кирова была разбита на 54 квадрата. В

каждом из них, определялся видовой состав и степень покрытия эпифитными лишайниками. Обследовано 5 тысяч деревьев (*Tilia cordata*), причем отмечались (с точностью до вида) только листоватые формы, а накипные не идентифицировались. Кустистые лишайники в составе растительности не обнаружены. В каждом квадрате города рассчитывался индекс в модели ИЧА Де Слувера – Ле Блана на загрязнение $Y^{(I)}_k \in \mathfrak{R}^{54}$, согласно работе [135]. Значения токсикофобности для расчетов взяты как средние значения по данным обзора [132].

На рис.8.1 картографирована оценка состояния атмосферы. Отметим, что большая часть г.Кирова образует стационарную общегородскую зону загрязнения воздуха – зону с индексом чистоты атмосферы ИЧА < 8 , при более чистых периферийных участках. Наличие большей загрязненности в центральной части города по сравнению с периферией подтверждается и другим лишенодиагностическим методом – применением трансплантатов (*Hypogymnia physodies* и *Xanthoria parietina*).

Считается, что лишеноиндикация удобнее при низких концентрациях токсикантов [165], однако большинство лишеноиндикационных работ выполнены на территории городов и крупных промышленных агломераций, и, соответственно, разработанные методики нацелены главным образом на урбанизированные территории [37]. Поэтому, в методическом плане, на основании полученных данных можно отметить, тот факт, что баллы оценок $Y^{(I)}_k \in \mathfrak{R}^{54}$ встречаемости-покрытия имеют асимметричное распределение частот $\Phi(Y^{(I)})$, близкое к логнормальному. При предположении о нелинейности индикаторного отклика лишеномониторов в зависимости "доза–эффект", в условиях города более адекватная модель требует преобразования функции $\Phi(Y^{(I)})$ в статистику, с законом распределения $\Phi^*(Y^{(I)})$, близким к нормальному и построения зон воздействия поллютантов в нормализованных оценках ИЧА*.

Стационарные общегородские зоны загрязнения воздуха ИЧА* для г.Кирова, с учетом нормализации приведены на рис.8.2. Можно отметить значительное улучшение пространственной сопряженности рельефа ИЧА* в данной анаморфозе с полями других биоиндикаторов, рассмотренных ниже.

8.1.2. Зонирование урбоэкосистем по содержанию тяжелых металлов

Длительное совокупное воздействие на окружающую среду городских агломераций порождает загрязнение их территории одной из приоритетных групп токсикантов – тяжелыми металлами за счет разнообразных антропогенных источников. Так например, обобщение данных более чем по 40 городам показывает, что в среднем почвы более чем на 50% их территории имеют умеренно-опасный уровень загрязнения при довольно широкой распространенности пятен высокого (опасного) уровня [176].

Наличие подобных уровней загрязнения требует решения комплекса гигиенических задач, в том числе организации мониторинга. Последний требует выявления источников и их весовых вкладов в эмиссию поллютантов, проведения оценки и районирования селитебных территорий по уровню загрязнения, определение приоритетных загрязнителей и их маркеров, а также апробацию показателей в численных моделях.

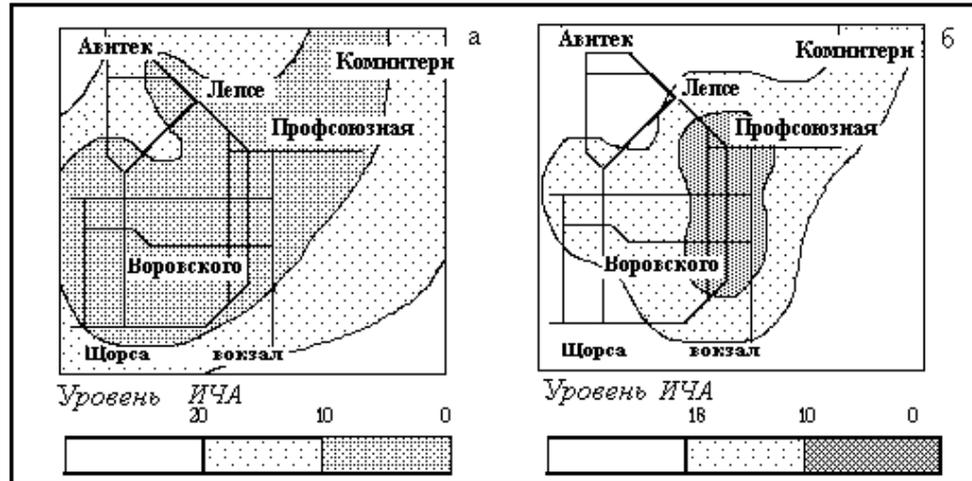


Рис. 8.1. а) ИЧА лишенофлоры по модели Ле Бланка - де Слувера

б) ИЧА лишенофлоры по нормализованным оценкам

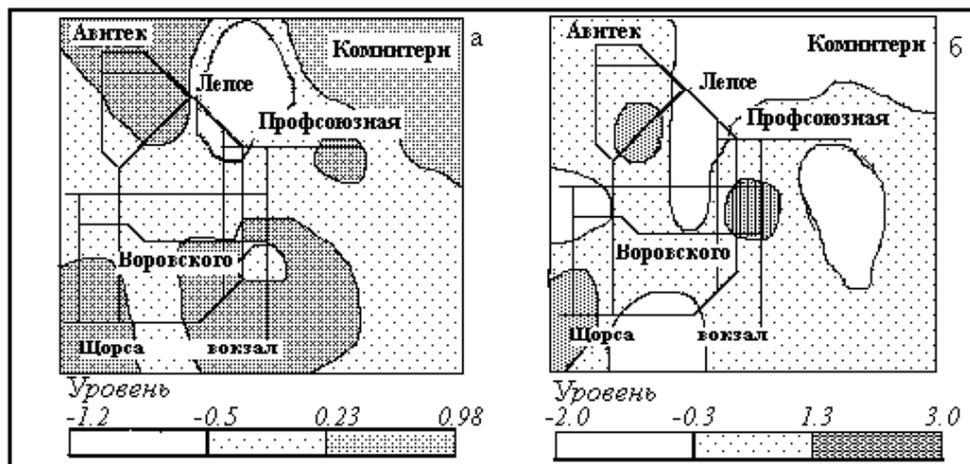


Рис. 8.2. Содержание тяжелых металлов в листьях *Acer negundo* L. по первой главной компоненте (а) и взвешенной сумме G_n (б)

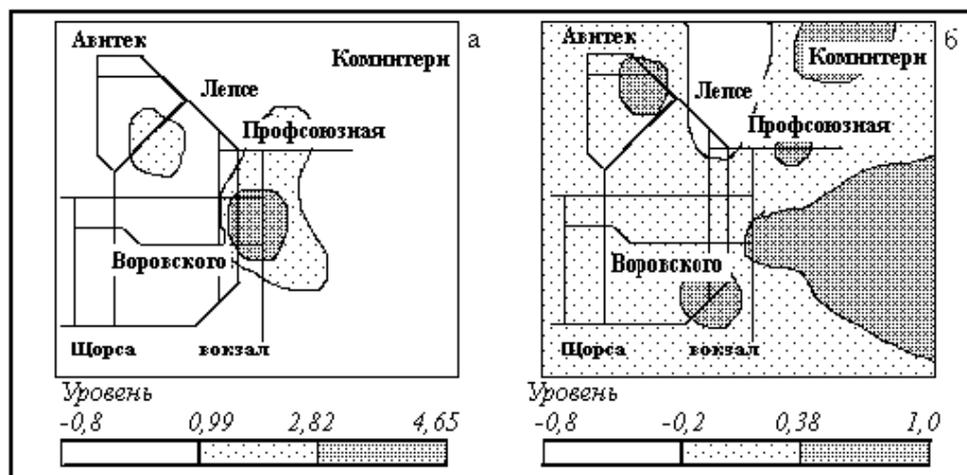


Рис. 8.3. Содержание тяжелых металлов в листьях *Acer negundo* L.: а) ареалы кластера V, Ti, Zn; б) ареалы вектора невязки регрессии (е)

Эколого-геохимические исследования почв г.Кирова проведены в период 1992-1994 гг [75, 176]. Показано, что в почвах города в 2-3 раза увеличено содержание основных технофильных металлов - свинца, никеля, меди, цинка, ванадия, кобальта. По степени общего загрязнения Z почв отмечается три уровня загрязнения: низкий уровень загрязнения $Z < 16$ (периферийные зоны города); средний – $16 < Z < 32$ (в зоне исторического центра города); высокий – $Z > 32$ (локальные очаги в северном районе и центральной части города). Оценка степени суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и другими элементами г.Кирова вполне соответствует ситуации, характерной для крупных городов с развитой промышленностью и большой транспортной нагрузкой.

Однако для интегрального районирования городской территории по аэрогенному загрязнению тяжелыми металлами более репрезентативны оценки, полученные с помощью биоаккумулирующих индикаторов поллютантов, поступающих в растения с корневым питанием, обменной абсорбцией с поверхностью листа и за счет газообмена. Согласно [177] на поверхности листьев может накапливаться от 13 до 53% общего количества загрязнителя, аккумулированного растением, причем наиболее существенна роль пылевой составляющей в общем балансе (так для Pb – 53%, для Cd – 44%). Тем не менее в условиях урбэко систем содержание металлов в растительности Z'_n и почвах Z''_n практически независимы и коэффициенты биологического поглощения составляют от 0,05 (для Co) до 0,44 (для Cu).

Нами использованы листья *Acer negundo L.* – доминантного вида в селитебных фитоценозах В разных частях г.Кирова собрано 200 объединенных проб листьев и спектральным методом (ААС) определены концентрации Cr , Ni , Cu , Co , Pb , Zn , V , Ti , Mg и Fe . На картах распределений отдельных элементов выявляются мозаичные зоны содержания тяжелых металлов X^M_n в городе.

Зоны города по комплексным оценкам концентраций поллютантов

Для отражения межингредиентной интеграции загрязнения - свертывания информации о содержании тяжелых металлов может быть использована обычная гигиеническая оценка Z_a , с взвешивающей нормировкой на ПДК_г данных элементов в воздухе населенных пунктов, в следующем упрощенном виде:

$$Z_a = \sum_{j=1}^n \left[\frac{X_j^M}{ПДК_j} \right] .$$

В рамках данной оценки проведены расчеты общей токсичности Z_a по 10 элементам (Cr , Ni , Cu , Co , Pb , Zn , V , Ti , Mg и Fe) в листьях *Acer negundo L.* с пересчетом на биологический эквивалент свинца для 40 квадратов города и построен рельеф поля Z_a . Установлено, что максимальные значения Z_a соответствуют историческому центру города – наиболее гигиенически неблагоприятной зоной является центральная часть г.Кирова.

Кроме того, рассмотрены и другие комплексные оценки, учитывающие различие в вариативности векторов системы признаков X^M_n :

- а) первая главная компонента десяти металлов $G^{(n)}(X^M_n)$;
- б) взвешенная (по долям вкладов λ_i в общую дисперсию векторов системы признаков X^M_n) сумма десяти главных компонент $G^{(n)}(\lambda, X^M_n)$:

$$G^{(n)}(\lambda, X_n^M) = \sum \lambda_i G^i(X_n^M).$$

По данным моделям оценок территории приведены карты (рис.8.2а, б) основных зон загрязнения территории города: северо-западной, юго-западной и центральной. Первая из зон соответствует промышленному району города, а центральная зона обуславливается ролью автотранспорта.

Зоны города по таксонам системы следовых элементов X_n^M

Анализ корреляционной матрицы показателей X_n^M , по 40 площадкам города, выявляет два кластера (центроида) групп следовых элементов: $q_{11}^M(X_n^M)$, включающий векторы концентраций ванадия, титана и цинка и $q_{22}^M(X_n^M)$ – железа, хрома, марганца и свинца. Географически очаг кластера $q_{11}^M(X_n^M)$ (рис.8.3а) статистически связан с влиянием автотранспорта.

Так например, в линейной модели, где регрессоры $\{X^T\}_k$ - плотность потока автотранспорта, число крутых склонов и количество перекрестков в квадрате описания: $q_{11}^M(X_n^M) = \{X^T, a\} + \xi$, $R_{yy} = 0,94$. Картографирование вектора невязки данной модели $\xi(x,y)$ индицирует зоны вероятных выбросов в атмосферу от стационарных источников (рис.8.3б). Отметим, что достаточно высокое значение R_{yy} модели позволяет надеяться на группу элементов – *V, Ti, Zn* в листе *Acer negundo L.* как маркер загрязнений в городских условиях.

Зоны города по фитотоксической оценке загрязнений воздуха

Интегральной оценкой выбросов поллютантов является маркер фитотоксической нагрузки $\Phi = \{X_n^M, B\}$, где вектор весов **B** сформирован из средних уровней фитотоксичности, согласно данных работы [107]. На карте г.Кирова выделяются три очага высокой фитотоксической нагрузки Φ (рис.8.4а).

Включение Φ_j как отклика в нелинейных регрессионных моделях обусловленности векторами автотранспортной нагрузки X^T , позволяет интерпретировать географию вектора невязки ξ_j как очаги нагрузки от стационарных источников. Так в нелинейной модели: $Y(\Phi_j) = \{X^T, a\} + \xi$ где $Y(\Phi_j)$ - функция Харрингтона от нормированной Φ_j , согласно методике работы [113]. Картографирование вектора невязки $\xi(x,y)$ показывает наличие четырех очагов загрязнения вокруг промышленных зон г.Кирова (рис.8.4б).

8.1.3. Фенодиагностика городской территории

Ежегодный мониторинг частот фенотипов (одних и тех же популяций) проводится в г.Кирове под руководством Н.В. Жданова с 1980г. [166]. Отмечается, что процент форм с рисунком (ИСФ) растет - с 56 % в 1982г., до 68 % в 1994г, а с начала 90-х гг. отмечается переход к кривой, имеющей логистический характер числа фенотипов со временем [95]. Как отмечалось в гл.6, по структуре частот фенотипов «седой рисунок на листовой пластинке» белого клевера, популяции г.Кирова образуют отдельный, далеко удаленный кластер.

Для апробации метода для маркирования загрязнений нами обследованы ареалы фенотипов популяций *Trifolium repens* на 70 площадках в жилых массивах и в промышленных зонах г.Кирова (исследовано по 200 растений на каждом пробном участке). Анализ частот фенотипов показывает, что минимальные значения Y_k^{Φ} (ИСФ) приходятся на западную часть города, наибольшие - на центральную (рис.8.5а). Суммарная частота более редких форм (кроме фенотипов без

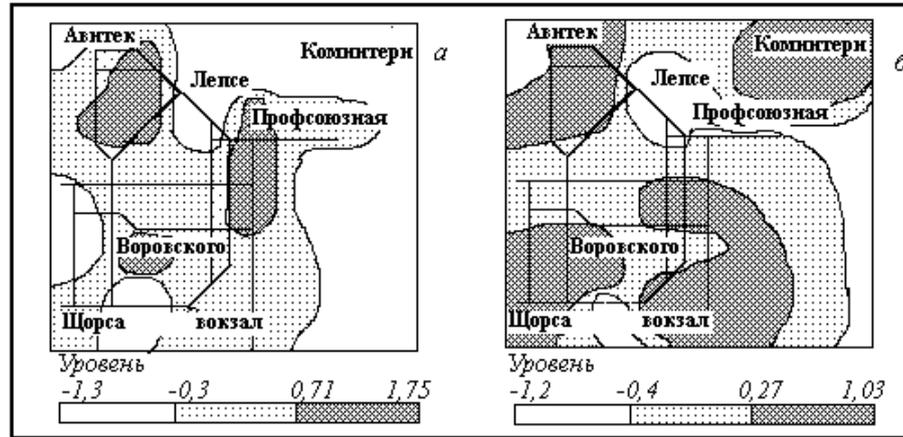


Рис. 8.4. Фитотоксическая нагрузка тяжелых металлов по их содержанию в листьях *Acer pedunculatum* L.: а) общая, б) за счет стационарных источников (вектор невязки регрессии по автотранспортным факторам)

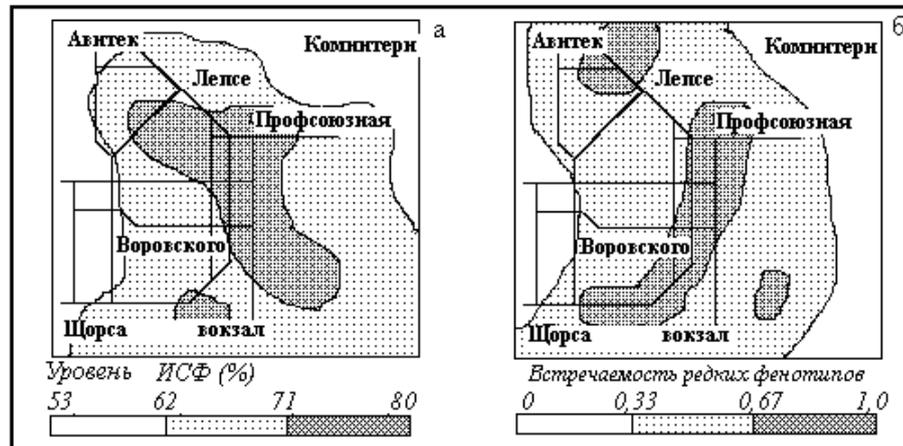


Рис. 8.5. Ареалы фенов "седого рисунка" - а) ИСФ, б) "редкие фены"

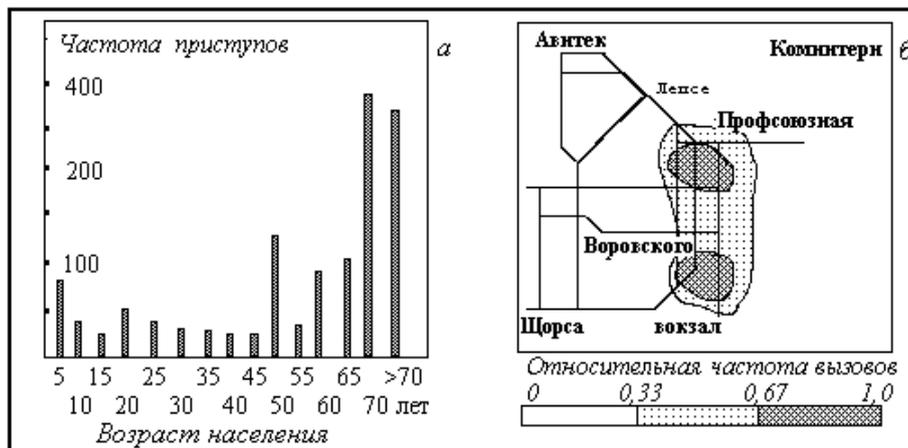


Рис. 8.6. Частоты вызовов "Скорой помощи" по приступам бронхиальной астмы "стандартизованного населения" в 1988-1991 гг.:

а) возрастная структура заболеваемости, б) нозоареалы острых приступов заболеваний

рисунка и "острый угол") картографирована на рис.8.5б. Максимальная частота этих форм в популяциях приходится на центральную часть г.Кирова, есть очаг в северо-западной части – промышленной зоне города. В параметрическом аспекте, информативность признака "седой рисунок" требует верификации его как индикатора антропогенного воздействия, которая проведена ниже.

8.1.4. Диагностика зон города по аллергическим патологиям

Задачей раздела является районирование города по аллергическим заболеваниям и верификация показателей как маркеров, отслеживаемых государственными службами и не требующими дополнительных затрат. Острые приступы аллергических заболеваний зависят от загрязнения воздуха [163]. Поскольку аллергозы химической этиологии, могут предрасполагать к сенсибилизирующему действию и других аллергенов (например, микробного генеза), и могут давать положительные тесты на ряд химических веществ, поэтому заболевания рассмотрены в целом по нозоклассам: легочным (бронхиальная астма, бронхиты) и внелегочным (аллергические реакции и дерматиты).

Для апробации метода изучены данные по учетным журналам вызовов службы "Скорой помощи" за 1988-1991 гг. Обработано 4000 вызовов по аллергическим заболеваниям и 10000 - по всем учетным формам. Город разделен на 390 площадок, по которым расчеты частот сделаны с учетом нормировок как на возрастную структуру по 5-летним интервалам (рис.8.6а), так и, за счет учета частот вызовов по всем нозоклассам, на плотность населения и телефонизацию. Проведенный анализ нозоареалов нормированных частот вызовов позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольшая частота стандартизованных острых приступов бронхиальной астмы $Y^{(A1)}_k$ присуща центру города (рис. 8.6б). (Отметим, что без стандартизации нозоареалы соответствуют другим районам города).

2. Поскольку роза ветров в г.Кирове имеет сезонный характер, то при этиологии заболеваний за счет выбросов предприятий, должен наблюдаться и сдвиг нозоареалов. Анализ частот вызовов по бронхиальной астме $Y^{(A1)}_k$ (рис.8.7а) в отопительный сезон с октября по апрель за все годы и сравнение с картой (рис.8.6б) показывает отсутствие существенных сезонных отличий нозоареалов. Это говорит о слабом вкладе стационарных источников выбросов в этиологию заболеваний, тогда естественным кандидатом на роль источника эмиссии аллергенов с сезонно-устойчивым ареалом становится автотранспорт.

3. Нозоареалы аллергических реакций и дерматитов $Y^{(A2)}_k$ схожи с очагами легочных аллергозов (бронхиальной астмой $Y^{(A1)}_k$) (рис.8.7б)

4. Для исключения фактора возможных профессиональных контактов с аллергенами проанализирована частота вызовов детей до 14 лет. Очаги аллергических реакций и дерматитов детей $Y^{(A3)}_k$ и взрослых контингентов $Y^{(A2)}_k$ качественно совпадают (рис.8.8а). Аналогично наблюдается совпадение очагов легочных аллергозов взрослого $Y^{(A1)}_k$ и детского $Y^{(A4)}_k$ населения.

5. Эмиссия природных аллергенов (по "дополнительным" очагам приступов в июньский период цветения трав) проявляется на участках города (рис.8.8б), непосредственно примыкающих к лугам и садам.

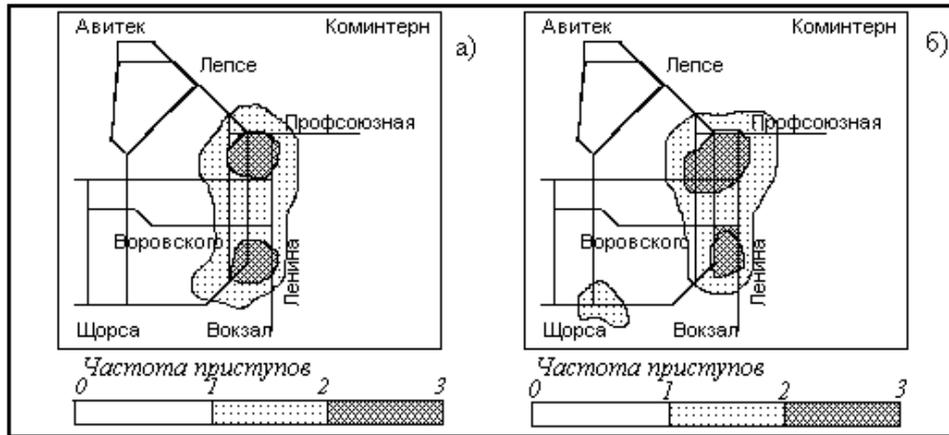


Рис. 8.7. Частота вызовов "Скорой помощи": а) по бронхиальной астме в отопительный сезон, б) аллергическим реакциям и дерматитам

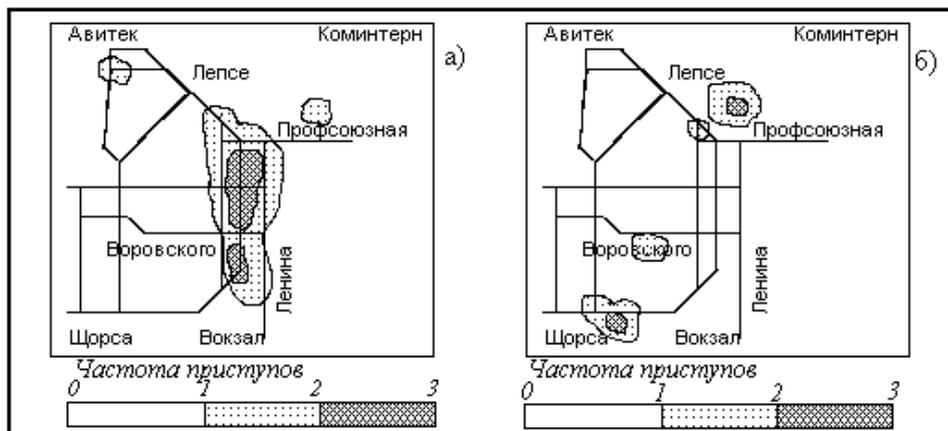


Рис. 8.8. Частота вызовов "Скорой помощи" по бронхиальной астме у детей: а) общая за все годы и все сезоны, б) "июньские приступы" (за 1988-1991 гг.)

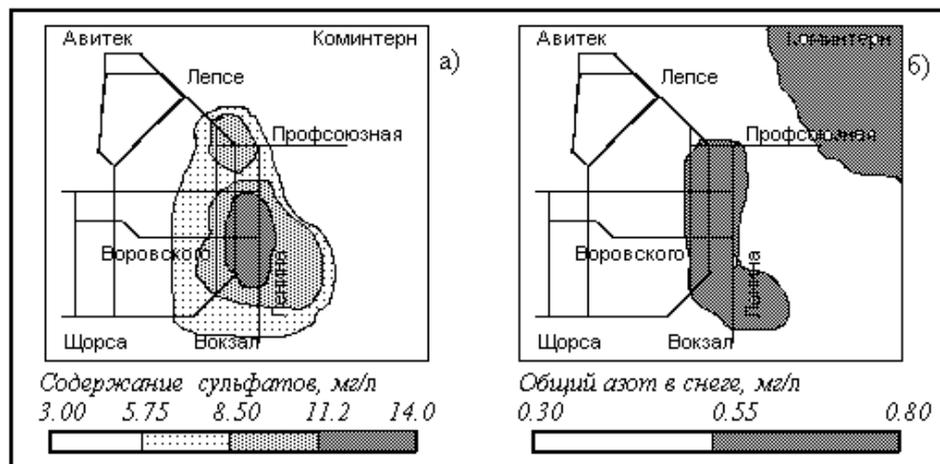


Рис. 8.9. Содержание загрязнителей в снеговом покрове: а) сульфаты, б) общий азот (нитратный, нитритный, аммиачный)

6. Согласно п.5 и п.7 критериев профзаболеваний сочетание бронхиальной астмы с внелегочными аллергиями и наличие данных патологий у других контингентов населения, указывает на их экологическую этиологию [170].

7. Нозоареал бронхитов $Y^{(A5)}_k$ (хронического, астматоидного и обструктивного) находится на пересечении ул. Комсомольской и К.Маркса, не совпадая с остальными очагами, и также имеет сезонную устойчивость. Отметим, что здесь по содержанию твердых частиц в снеге наиболее загрязненная зона.

Результаты географического, сезонного и демографического анализа очагов острых приступов аллергозов (кроме бронхитов) указывают на их вероятную экологическую этиологию, что делает перспективными показатели нормированных частот для мониторинга загрязнения атмосферы.

8.1.5. Зоны аэрогенной нагрузки по показателям загрязнения снега

Для районирования селитебной территории простым способом усреднения лабильных показателей аэрогенного загрязнения является измерение концентраций в снежном покрове – среде, депонирующей поллютанты. Для установления зон загрязнения в 54 точках г.Кирова были взяты пробы снега.

Установлено, что содержание сульфатов (мг/л) наибольшее в центре города, и в п. Коминтерн (рис.8.9а). В центре города имеются два очага: северный, и южный (от 10 до 14 мг/л). Содержание соединений азота показывает, что максимальные уровни находятся в центре города (порядка 0,8 мг/л) и восточнее трассы в п. Коминтерн. Наиболее нагруженным (выше 1мг/л) является район исторического центра города (рис.8.9б). Изолиния с рН = 6,6 кислотности снеговой воды делит город на центр (более высокие рН) и окраины, что связано, по-видимому, с выпадением зольных частиц, содержащих соединения щелочных металлов, повышающих рН талой воды. При среднем значении рН = 7 выделяются два участка в центре города с более низким значением рН = 6,6-6,8, уменьшаемом за счет выбросов автотранспорта.

Твердая фаза в снеге, за счет выпадений грубодисперсной фракции аэрозоля, обладающей максимальной скоростью седиментации, проявляется пятнами около источников выбросов – труб. По содержанию твердых частиц наиболее загрязненными зонами являются районы шинного завода, пересечения ул. К.Маркса - Комсомольской и пойма р. Люльченки в районе ул. Воровского.

Географическое совпадение зон повышенного загрязнения снега сульфатами, соединениями азота и повышенной кислотности снега, говорит о едином факторе определяющем пространственные очаги выпадений.

8.2. Верификация маркеров в численных моделях

Задача раздела состоит в поиске показателей, обладающих удовлетворительной системной полнотой в моделях "отклик биоты - факторы средового воздействия". Для отбраковки биомониторов г.Кирова исследованы показатели (реакции на загрязнение среды), дающие адекватные отклики в рамках регрессионных моделей. Моделирование проводилось в 2-4 уровневых регрессионных процедурах при разных векторах моделей первого уровня: $Y = (X, a) + \xi$. Рег-

рессорами модели $\{X^T\}_k$ служили: интенсивность грузопотока на автомагистрали, роль рельефного фактора, вызывающего изменение объема выбросов автомобилей (как процент крутых уклонов), число перекрестков (обуславливающее изменение средней мощности автомобильного потока в 1,2 - 1,4 раза); граничные условия задачи (город - незамкнутая система, поэтому в расчетах учтен и трансгородской грузопоток). Откликами Y_j служили реакции биоиндикаторов, содержание загрязнителей в снеге, металлов в листьях клена (векторы и их комбинации) [95].

В простейшей модели интенсивность выбросов автотранспорта пропорциональна общему грузопотоку (источнику эмиссии), маркируемому пассажиропотоком, числу перекрестков (временных стоянок), и рельефному фактору (числу крутых уклонов дорог). Испытывался учет ветрового фактора переноса загрязнителей (в 8-румбовом приближении), однако ни в одной из моделей регрессор не дал значимого вклада в отклик биотических показателей. Результаты расчета интенсивности выбросов автотранспорта приведены на рис. 8.10а, где видно, что максимальная нагрузка приходится на центр г.Кирова.

Модель "обобщенный биотический маркер – загрязнение снегового покрова"

Для зонирования территории в шкалах экострессорности полезен агрегирующий показатель, вбирающий разнообразие реакций биоты Y_k .

Для его формирования проведен компонентный анализ векторов показателей биодиагностики Y_k : $(Y^{(I)}, Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}, Y^{(A5)}, Y^{\phi}) \in \mathfrak{R}^{40}$. Наилучшей линейной комбинацией является первая главная компонента $G^{(1)}(Y_k)$ (72,7% дисперсии). Компонентные нагрузки Y_k в $G^{(1)}(Y_k)$ равны соответственно $Y^{(I)} - 0,34$; $Y^{(A1)} - 0,41$; $Y^{(A2)} - 0,42$; $Y^{(A3)} - 0,41$; $Y^{(A4)} - 0,41$; $Y^{(A5)} - 0,24$; $Y^{\phi} - 0,35$.

Рассмотрение отклика $G^{(1)}(Y_k)$ в линейной модели обусловленности параметрами снегового покрова Z^C_k :

$$G_I(Y_k) = \{a, Z^C\} + \xi^{(1)},$$

дает весовые вклады регрессоров: $0,63 \pm 0,04$ (для сульфатов), $0,12 \pm 0,03$ (для азота), $0,02 \pm 0,01$ (для дисперсной фазы) $0,01 \pm 0,01$ (солесодержание).

Рассмотрение отклика $G^{(1)}(Y_k)$ в модели полной кубической регрессии:

$$G_I(Y_k) = \{a, f(Z^C_k)\} + \xi^{(2)},$$

где $f(Z^C_k)$ функция трех наиболее весомых аргументов, дает $R_{yy} = 0,96$, что позволяет трехуровневое шкалирование территорий (рис.8.11). Наиболее напряженным по отклику $G^{(1)}(Y_k)$ является центр города вдоль ул.Ленина. Зона со средним уровнем нагрузки охватывает весь исторический центр города.

Итак, качество моделей говорит, что Y_k может служить маркером загрязнения атмосферы, вбирающим разнообразие реакций биосистем города.

Модель "ИЧА - параметры снегового покрова"

Зонирование территории города по химическим факторам требует набора их маркеров. Показатели лишенодиагностики ИЧА $Y^{(I)}$ можно принять как контрольную выборку, а содержание в снеге поллютантов Z^C и тяжелых металлов в листьях клена ясенелистного X^M - как маркеры загрязнений атмосферы. Взаимосвязь реакций лишенофлоры и аэрогенных загрязнений при удовлетворительном качестве модели, по ее невязке ξ индицирует, помимо территории, где состояние популяций определяется содержанием соединений серы, азота и

следовых элементов, области угнетающего действия на лишенофлору и других факторов. В модели $Y^{(II)} = \{a, \Phi(Z^C, X^M)\} + \xi^{(1)}$, для последнего уровня $R_{yy} = 0,96$ (по γ^2 – критерию 3 градации $Y^{(II)}$) и распределение невязки ε (рис.8.12) индицирует воздействие на лишенофлору на северо-востоке и юго-западе города других поллютантов, вне системы маркеров Z^C, X^M .

Таким образом, данный набор маркеров Z^C, X^M позволяет три градации отклика в оценке чистоты атмосферы через показатели лишенодиагностики $Y^{(II)}$.

Очаги синфазной реактивности биомаркеров

Сходство ареалов острых приступов стандартизированных аллергических заболеваний $Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}$ обусловило 92% вес их 1-й главной компоненты $G^{(1)}(Y_k^{(A)})$ (как комплексной оценки заболеваемости) в общей дисперсии. Такое сходство показателей ($Y_k^{(A)}$) ставит вопрос об оценке их «общей этиологии».

Рассматривая $G^{(1)}(Y_k^{(A)})$ как отклик в задаче обусловленности некоторым фактором, маркируемым векторами $Y_k^{(\phi)}$ частот встречаемости фенов (белого клевера) в нелинейной многоуровневой модели $G^{(1)}(Y_k^{(A)}) = \Phi(Y_k^{(\phi)})$ величина $R_{yy} = 0,96$, по γ^2 -критерию допускает три уровня шкалы отклика $G^{(1)}(Y_k^{(A)})$.

В центре города (рис.8.13) проявляются два участка синфазной реактивности растений и человека (совпадающие с зонами повышенной автотранспортной нагрузки). Очаги остатков регрессии географически соответствуют промышленным зонам - источниками поллютантов - западная и северная зоны - выбросы БХЗ; северная - предприятия "Искож", МСЗ им.1 Мая, КЭМПО им. Лепсе; восточная - множество котельных с низкими трубами в этом районе.

Таким образом, оценка острых приступов аллергических заболеваний $G^{(1)}(Y_k^{(A)})$, может моделироваться векторами $Y_k^{(\phi)}$ частот встречаемости фенов на трех уровнях шкалирования, допуская содержательную (по зонам экстрессорности) интерпретацию зонирования территории города.

Модель "обобщенный биотический маркер - влияние автотранспорта"

Компонентный анализ показывает наибольший вес (0,85) основного вектора $G^{(1)}(Y_k)$ у системы пяти параметров $Y_k^{(\phi)}$ (ИСФ) и $Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}$ аллергических реакций для детского и взрослого контингентов, что индицирует вероятность их единой причины. Однородность уровней вкладов аллергических заболеваний в $G^{(1)}(Y_k)$ ($46,1 \pm 0,5\%$) говорит о географической коррелированности острых приступов и их причин (экологической этиологии).

Обобщенная оценка пяти параметров $G^{(1)}(Y_k)$, указывает на наибольшую экстрессорность в центре города (рис.8.14). Рассмотрим ее применимость на роль маркера загрязнения атмосферы транспортными источниками.

В линейной модели ($R_{yy}^2 = 92\%$) обусловленности обобщенного биотического маркера $G^{(1)}(Y_k)$, где регрессорами X_k^T служили плотность потока автотранспорта, число крутых склонов и количество перекрестков в квадрате описания: $G^{(1)}(Y_k) = (X_k^T, a) + \xi$.

Распределение вектора невязки модели $\xi(x, y)$ выделяет 6 очагов в городе и интерпретируется ролью стационарных источников поллютантов (рис. 8.15).

Таким образом, вектор $G^{(1)}(Y_k)$ параметров $Y_k^{(\phi)}, Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}$ может быть маркером загрязнения атмосферы транспортными источниками.

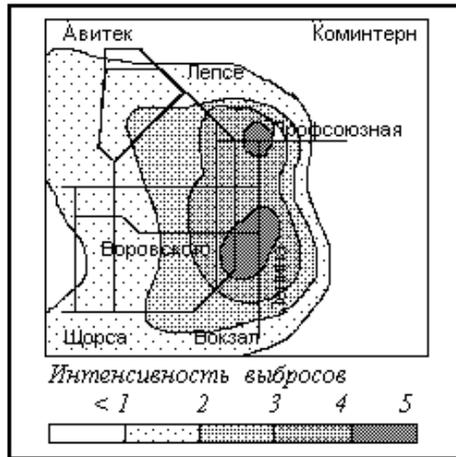


Рис. 8.11. Интенсивность движения автотранспорта в г.Киеве

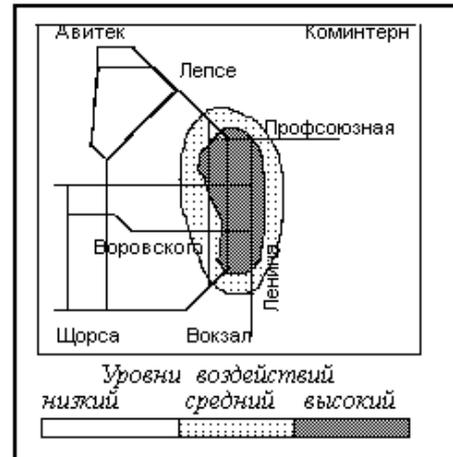


Рис. 8.12. Оценка реакций биоты через загрязнение снега

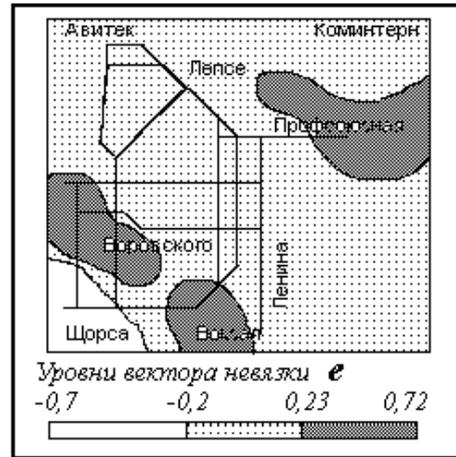


Рис. 8.12. Влияние неучтенных факторов на лишенофлору

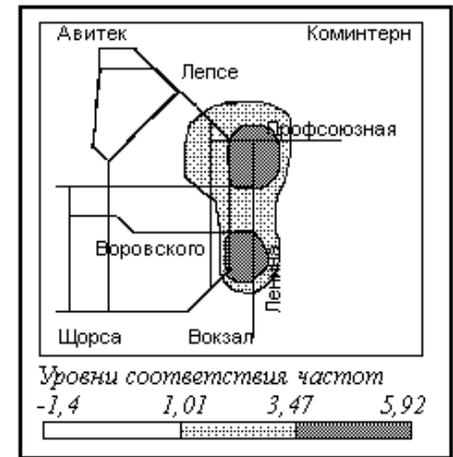
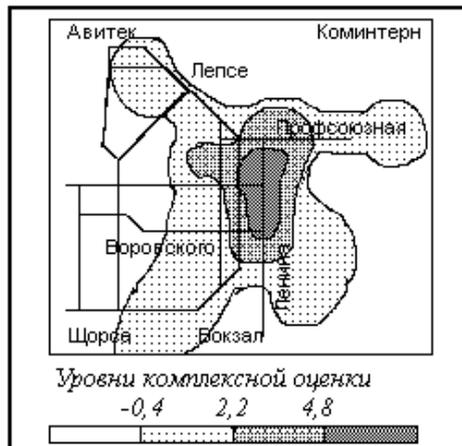


Рис. 8.13. Зоны совпадения частот вызовов "Скорой помощи" и ИСФ



1-я главная компонента частот приступов и ИСФ

Рис. 8.14.

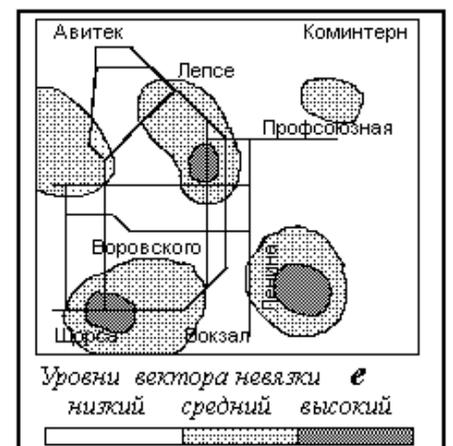


Рис. 8.15. Зоны загрязнения за счет стационарных источников

Модели "показатель биоты - факторы среды"

Результаты моделирования различных биотических показателей – маркеров (регрессоры - содержание загрязняющих веществ в снеге, металлов в листьях клена ясенелистного и векторов автотранспортной нагрузки) представлены в табл.8.1. Согласно табл.8.1 коэффициенты множественной корреляции моделей R_{yy} для различных биотических маркеров, как откликов моделей (адекватность по Фишеру на уровне 0,05), допускают по γ_3 – критерию у четырех из них (в предпосылке их экологической этиологии) двухуровневое шкалирование зон города. Удовлетворительны по γ^2 -критерию модели для "обобщенных показателей" - $G^{(n)}(Y_k)$. Так отклик – первая главная компонента $G^{(1)}(Y_k)$, (с весом 73%) системы семи параметров $Y^{(ф)}$ (ИСФ), $Y^{(н)}$ (ИЧА) и $Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}, Y^{(A5)}$ аллергических реакций для детского и взрослого контингентов, на 96% коррелирован с действием химических факторов и γ^2 -критерий позволяет четыре градации территории. Для второй главной компоненты этих признаков $G^{(2)}(Y_k)$, вбирающей 12% дисперсии, моделирование дает $R_{yy} = 0,93$, и по γ^2 -критерию две градации шкалы. На рис.8.16а (для $G^{(1)}(Y_k)$) и рис.8.16б – для $G^{(2)}(Y_k)$) приведены карты остатков регрессий, не описываемые использованной системой химических факторов. Так, по $G^{(1)}(Y_k)$ определены участки со специфическими биооткликами - с различием на уровне 4-й градации, что предполагает наличие в этих районах специфических поллютантов, отличающихся от среднегородских.

Таблица 8.1

Результаты моделирования различных биотических показателей – маркеров

Биотические маркеры – отклики моделей	R_{yy}	Адекватность по Фишеру	Число шкал (γ_3^2)
ИЧА по данным лишеноиндикации	0,79	Нет	-
Частота приступов (бронхиты)	0,56	Нет	-
Аллергические реакции всего населения	0,93	Да	2
Аллергические реакции детей	0,93	Да	2
Бронхиальная астма (все возрасты)	0,93	Да	2
Бронхиальная астма у детей	0,93	Да	2
Обобщенный биомаркер $G^{(1)}(Y_k)$	0,98	Да	4
Обобщенный биомаркер $G^{(2)}(Y_k)$	0,93	Да	2

Анализ остатков регрессии с откликом $G^{(2)}(Y_k)$ выявляет 3 зоны, со специфическими наборами загрязняющих веществ (рис.8.16б) - районы предприятий "Искож", Красный Химик и обширная область в западной части города, обусловленная, вероятно, ролью биохимического завода.

Таким образом, данный набор признаков позволяет 2-4 градации шкалы отклика в экологической оценке. Ортогональность векторов биомаркеров $G^{(1)}(Y_k)$ и $G^{(2)}(Y_k)$ дает описание по независимым реакциям компонентов биоты

(с долями 73 % и 12%), объясняемых воздействиями факторов среды, и, в свою очередь, маркируемых содержанием загрязняющих веществ в снеге, металлов в листьях клена ясенелистного и векторами фактора автотранспортной нагрузки.

Химические маркеры автотранспорта в загрязнении снегового покрова

Для зонирования территории необходимо оценить вклад эмиссии автотранспорта в загрязненность снега (маркера чистоты атмосферы города).

В моделях обусловленности загрязнения снегового покрова (атмосферы) автотранспортом (векторы X^T), в качестве отклика взяты главные компоненты показателей Z_k^C (сульфатов, оксидов азота, взвешенных частиц и солесодержания) $G^{(n)}(Z_k^C)$ (с весами, соответственно, 0,382, 0,250, 0,202, 0,166). Аргументы X^T - плотность автотранспорта, рельеф, число перекрестков и роза ветров. Рассмотрена система моделей для каждого из четырех главных факторов $G^{(n)}(Z_k^C)$: $G^{(n)}(Z_k^C) = \{a, \Phi(a, X^T)\}$, где $\Phi(a, X^T)$ - полные кубические полиномы аргументов X^T . Коэффициенты множественной корреляции моделей: для $G^{(1)}(Y_k)$ $R_{yy} = 0,91$; для $G^{(2)}(Y_k)$ - $R_{yy} = 0,89$; для $G^{(3)}(Y_k)$ - $R_{yy} = 0,83$; для $G^{(4)}(Y_k)$ - $R_{yy} = 0,89$. В соответствии с F -критерием каждый из откликов $G^{(n)}(Y_k)$ значим на уровне 0,05, но по γ_3^2 -критерию только по $G^{(1)}(Y_k)$ можно выделить шкалируемые зоны города. Значение коэффициента множественной детерминации $R_{yy}^2 = 0,83$, говорит, что на 4/5 загрязненность снега (атмосферы города) обусловлена автотранспортом.

На рис.8.17а выделены зоны уровней загрязненности снега за счет работы автотранспорта (максимум в центре города). Роль остальных источников поллютантов индицируется анализом невязок ε_n в многоуровневых моделях. Карты ε_n , изображающие поля загрязнения снега сульфатами, соединениями азота, твердыми частицами и солями, вызванного источниками, не связанными с автотранспортом приведены на рис.8.17б, 8.18а, 8.18б. На рис.8.17б представлена карта распределения сульфатов. Наиболее существенное загрязнение отмечается на западе центральной части города. Карта загрязнения соединениями азота, приведенная на рис.8.18а, выделяет две области в западной и северной (заречной) частях города. Рис.8.18б. отражает содержание твердых частиц в снеге. Максимальные концентрации наблюдаются на северо-востоке города (в районе п. Коминтерн).

Таким образом, численный эксперимент дает 80% вклад эмиссии автотранспорта в оценку загрязненности атмосферы (снега). Первая главная компонента $G^{(1)}(Y_k)$ векторной выборки параметров снегового покрова Z_k^C - сульфатов, оксидов азота, взвешенных частиц и солесодержания, может выступать химическим маркером автотранспорта в загрязнении атмосферы.

Стационарные источники атмосферной эмиссии г.Кирова

По степени экологической опасности для здоровья населения г.Киров относят к группе 23-х наиболее неблагополучных городов России [167], но как показано выше, основным источником экострессорности в приземном слое атмосферы г.Кирова, является автотранспорт. Однако стационарные источники поллютантов требуют оценки вклада в географию экологической нагрузки. В воздух ежегодно поступает 110 тыс. т поллютантов (70 тыс. т стационарные источники, автотранспорт - 40 тыс.т). Максимальная нагрузка приходится на центр города (расчет по ОНД-86 дает превышение ПДК по диоксиду серы, взвешенным и другим веществам [120]).

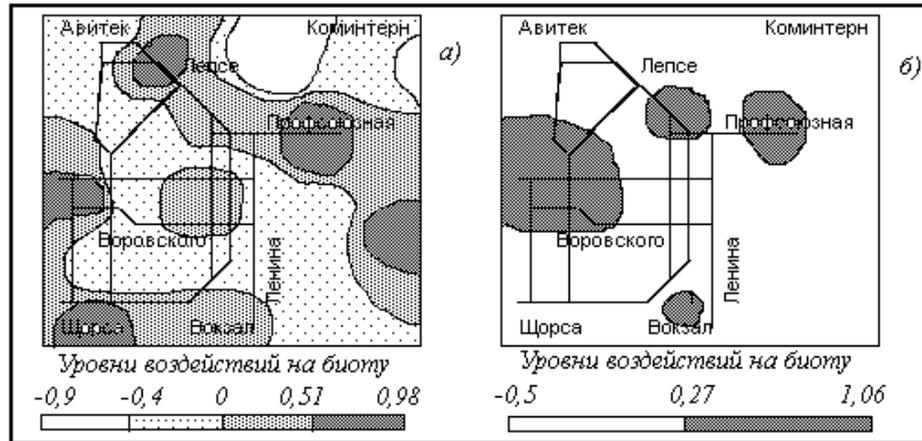


Рис. 8.16. Поля вероятных загрязнений специфическими поллютантами по векторам невязки регрессионных моделей: а) отклик G_1 , б) отклик G_2

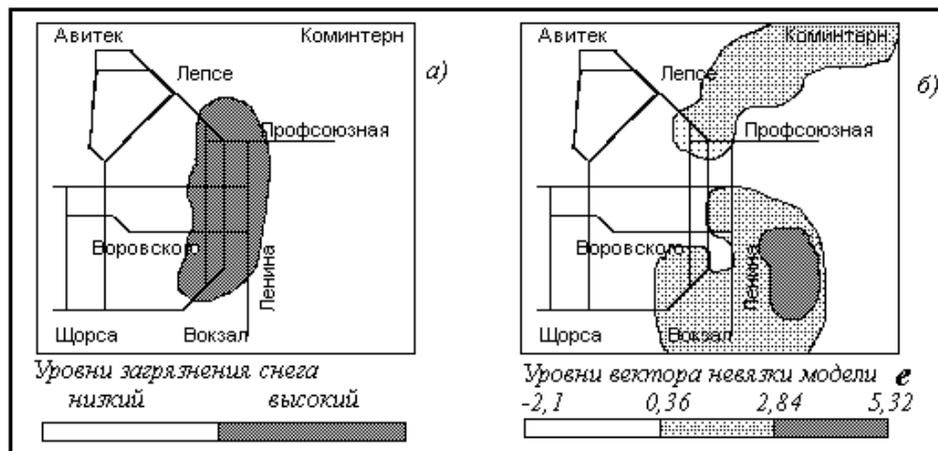


Рис. 8.17. Загрязнение снегового покрова: а) за счет автотранспорта, б) сульфатами за счет стационарных источников

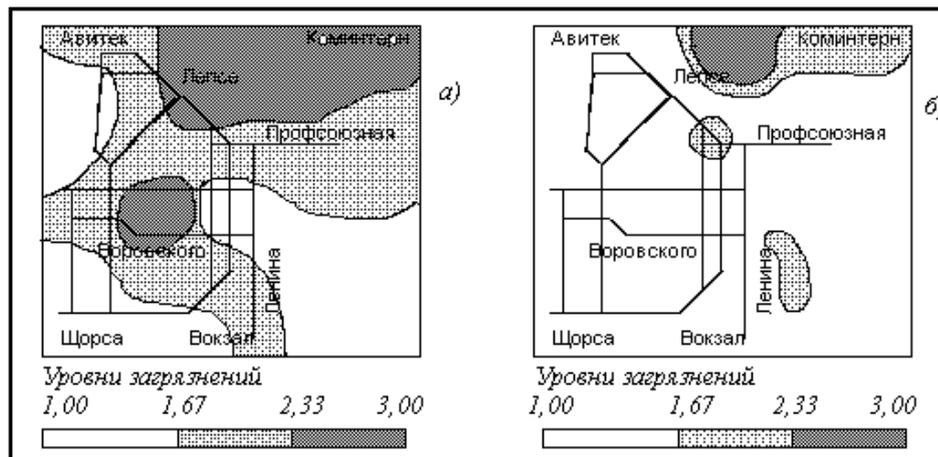


Рис. 8.18. Загрязнение снегового покрова за счет стационарных источников: а) соединениями азота, б) дисперсной фазой (по векторам невязки)

Выделение этих зон при поэтапном моделировании параметров территорий, состоит в регрессионном анализе остатков и тренд-векторов по различным схемам. Так, для тренд-вектора полной совокупности факторов X^T - плотности ав-

тотранспорта, рельефа, числа перекрестков и розы ветров, полученного в регрессии на отклик - 1-ю главную компоненту $G^{(1)}(Y_k)$, (с весом 73%) системы семи параметров $Y^{(ф)}$ (ИСФ), $Y^{(л)}$ (ИЧА) и $Y^{(A1)}$, $Y^{(A2)}$, $Y^{(A3)}$, $Y^{(A4)}$, $Y^{(A5)}$ (рис.8.19а) применение регрессии (полином 5 степени от факторов X^T) позволяет достичь $R_{yy} = 0,99$. Карта остатков модели в трех градациях приведена на рис.8.19б. Надежно выделяются три зоны, обусловленные нетранспортным загрязнением, и все они соответствуют депрессивным участкам местности.

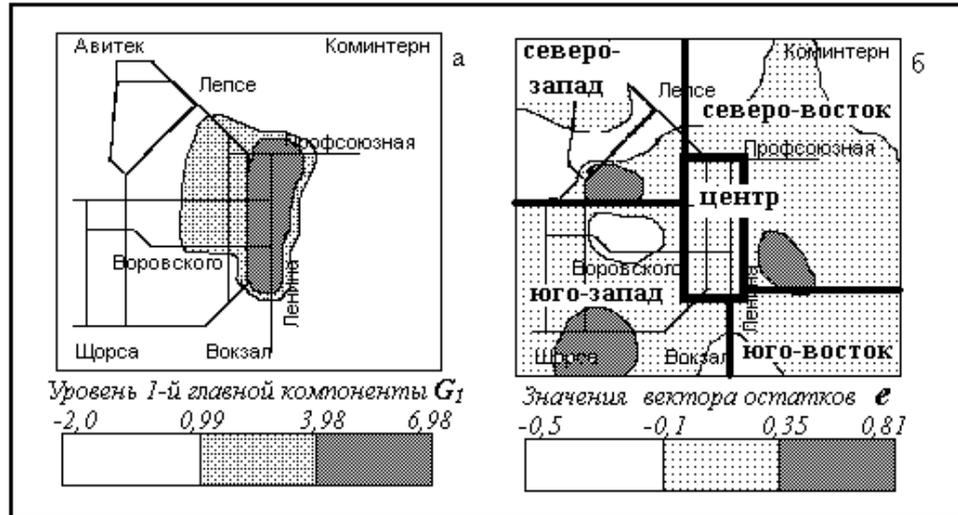


Рис. 8.19. Интегральное экологическое районирование г.Кирова:
а) Зоны воздействия поллютантов на биосистемы (G_1 , 7 показателей),
б) Воздействие от стационарных источников (вектор e регрессии)

Для выяснения роли стационарных источников промышленных предприятий проведено решение задачи таксономии по 9 основным поллютантам в пространстве расчетных концентраций, рассчитанным по ОНД-86 для 5 территорий города (табл.8.2).

Кластерный анализ данных табл.8.2 показывает наибольшее сходство северо-западной части и центра города (обобщенное расстояние в 5-6 раз меньше, чем в следующих этапах) - таксон, отличный по уровням загрязняющих веществ.

Таблица 8.2

Расчетные максимальные концентрации загрязнителей (мг/куб.м)

Поллютант	Доли ПДК по районам					
	ПДК	С-З	Ю-З	С-В	Ю-В	Центр
Оксид серы (IV)	0,5	1,1	3,4	13,2	6,9	2,3
Оксид азота(IV)	0,085	9,3	2,47	1,18	1,77	3,65
Твердая фаза	0,5	3,0	3,6	6,4	5,2	1,6
Ксилол	0,2	2,0	5,0	0,9	2,0	2,0
Бутилацетат	0,1	3,3	1,1	1,0	1,0	2,0
Фурфурол	0,05	1,2	0	0	0	0
Толуол	0,6	0,55	1,5	2,88	0,8	0,55
Аммиак	0,2	0,42	0,43	0,27	0	0
Формальдегид	0,035	0,37	0	0	0,69	0

При сравнении с картой остатков (рис.8.19б) видно, что две из трех зон повышенной нагрузки на биоту, не объясненных автотранспортной моделью, попадают в центрально-северо-западный кластер, резко отличающийся по совокупности расчетных концентраций поллютантов от стационарных источников. Другая зона, не объясненная в модели, в окрестности железнодорожного узла, имеет, по-видимому, реально более высокую автотранспортную нагрузку.

Таким образом, полученные маркеры позволяют получать в численном эксперименте разрешение, достаточное для шкалирования территории на нескольких уровнях.

* * *

В воздушный бассейн г. Кирова ежегодно поступает 102-113 тыс. т загрязняющих веществ, из которых около 70 тыс.т приходится на стационарные источники. Проведенный на примере г.Кирова комплекс полевых исследований – лихенодиагностики, феноиндикации, пробоотборов и камеральной обработки образцов снега, листьев растений, анализа данных станций "Скорой помощи" по аллергическим нозоклассам, вполне определенно указал на наличие устойчивых "общегородских зон" загрязнения атмосферного воздуха, в которых необходима организация контрольных постов мониторинга.

В последнее время существование на селитебных территориях устойчивых "общегородских зон" загрязнения автотранспортом атмосферного воздуха стало общепризнанным фактом [95,161-164]. Так в центральной части Санкт-Петербурга проявляется зона с превышения порядка 5 ПДК по NO_2 , причем на самих автомагистралях до 19-24 ПДК (то же и в других городах: в Братске - 15-17 ПДК, Пскове 6-7, Гатчине 2-4). Аналогичная ситуация отмечена для окиси углерода и соединений свинца. Однако не все поллютанты создают в городе пространственно - устойчивые зоны (их нет например для углеводородов, несмотря на превышение выше уровней ПДК около автомагистралей [164]). Проведение численного моделирования на примере г.Кирова проявило автотранспорт как основной источник загрязненности атмосферы селитебной территории, дающий 80% вклад в воздействие на биоту и человека в приземном слое атмосферного воздуха.

В России по транспортным выбросам лидирует Москва (800 тыс. т в год), далее Петербург (244 тыс. т), затем Краснодар (150 тыс. т) [162], где экологическая проблема появления устойчивых "общегородских зон" загрязнения автотранспортом, по-видимому, является еще более острой, требуя проведения диагностических исследований селитебных территорий для установления зон влияния на биоту и социальное здоровье – индикаторных, экологически зависимых и умеренного воздействия. Зонирование территорий городов составляет содержательную сторону пространственной организации мониторинга очагов загрязнения. В параметрическом аспекте мониторинга селитебной территории для минимизации стоимости начального обследования в качестве индикаторных признаков целесообразно использовать показатели нормированных частот острых приступов аллергозов (кроме бронхитов). Все необходимые базы

данных по аллергическим патологиям (в том числе нужные для стандартизации населения частоты вызовов по всем нозологическим учетным формам и демографические характеристики) содержатся в учетных журналах архивов станций "Скорой помощи".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развертывание РГСЭМ – системы поддержки органов управления в региональной политике природопользования, является сложной, дорогостоящей и чрезвычайно наукоемкой задачей, требующей интеграции специалистов разного профиля. Прежде всего, в каждом субъекте Российской Федерации необходима разработка концепции РГСЭМ, которая, с учетом современных экономических реалий, базируется на минимизации стоимости технических средств контроля за экологической обстановкой.

В данном аспекте наиболее естественным решением является построение РГСЭМ, как системы, объединяющей организации, генерирующие информационные ресурсы (имеющие ведомственные системы мониторинга), природопользователей (вне зависимости от формы собственности), а также органы управления, интегрированных в единую сеть. Сеть РГСЭМ должна содержать базы данных систем ведомственных наблюдений за природными условиями, природными ресурсами, здоровьем населения, антропогенными факторами воздействия; базы знаний (оценок и прогнозов состояния территорий, прецедентов задач и вариантов их решений); вычислительных средств и программного обеспечения. Функционирование РГСЭМ как интегрированной среды сетевых ресурсов позволит информационно обеспечить региональные и местные органы управления в политике природопользования, научно обосновывая критерии альтернатив выбора решений в стратегии хозяйствования с учетом охраны природной среды.

С другой стороны, концепция РГСЭМ должна учитывать региональную специфику природных и хозяйственных условий. Последние настолько различны, что представить концепцию, универсальную для систем комплексного мониторинга всех субъектов Российской Федерации, представляется делом достаточно спорным, если не безнадежным. В первую очередь региональная специфика касается адекватного задачам РГСЭМ районирования территорий, учитывающего весь комплекс природо-хозяйственных характеристик, и по которому необходимо проводить оценки территории и делать прогнозы экологической ситуации региона. Кроме того, местные особенности сказываются и на информативности признаков, по тому или иному фактору, отслеживаемых сетями наблюдений, что требует проведения всестороннего анализа структур данных региона для формирования системы приоритетных показателей на основе ведомственной информации.

В восьми главах данной работы были рассмотрены основные подходы создания региональной системы комплексного экологического мониторинга (на примере Кировской области) – выдвинута его концепция, предложены общие принципы построения системы, рассмотрены вопросы ее хронологической и параметрической организации на региональном и локальном уровнях. В выдвинутой концепции РГСЭМ в информационные ресурсы мониторинга наряду с показателями ведомственных систем наблюдений, входят данные сети опорных полигонов, а также дополнительного "общественного" мониторинга.

Обоснование районирования для задач территориальной организации РГСЭМ проведено на базе численной таксономии матрицы показателей состояния и хозяйственной освоенности территорий (X_n), где на первом этапе по-

лучают кластеры признаков $q_i(X_n)$, а на втором, по кластерам признаков $q_i(X_n)$ – таксоны структурно-однородных территорий региона $U\{q_i(X_n)\}$. Состояние территории каждого региона отслеживается десятками сетей наблюдений и описывается множеством показателей, разбиваемых на множество векторных выборок диагностических признаков Y_k и множество индикаторов факторов окружающей среды X_n . Однако для поддержки ЛПП и экспертов необходимо сокращение размерности обеих выборок. Для выявления и внесения в сетевой ресурс РГСЭМ первоочередных мониторов, а также верификация показателей, проведено численное моделирование в регрессионных уравнениях вида "экологическое состояние территорий - факторы среды". Это позволяет определить показатели ведомственных сетей наблюдений, имеющих значимые веса на заданном уровне достоверности, "регионально информативные" по данному фактору, а также получить комплексные оценки, отображающие совокупную реактивность индикаторов или обобщенные факторы воздействий.

Методические вопросы организации мониторинга региона подробно рассмотрены в гл. 1 и гл. 2, проведение районирований региона на примере Кировской области на базе численного таксономического анализа – в гл. 3, а вопросы установления наиболее информативных диагностических признаков – мониторов РГСЭМ в гл. 4. В силу актуальности задач пространственно-параметрической организации РГСЭМ подобные исследования могут быть без труда выполнены специалистами на материалах других регионов России.

Комплексное эколого-хозяйственное районирование Кировской области дало географически сопряженные классификации по целому ряду систем признаков: по показателям земельного фонда и уровней интенсивности воздействий; площади покрытия лесом преобладающих пород; оценкам уровней воздействия за счет лесозаготовки; показателям размещения промышленности, сельского хозяйства; основным уровням воздействий в регионе; антропогенной трансформации коренной растительности; показателям и кластерам естественных процессов; показателям растительных ассоциаций; оценкам лесопользования и урбанизации (векторам, входящим в кластеры $q_3(X_n^a)$ и $q_4(X_n^a)$), а также по структуре ресурсов. Показано, что основные субтерриториальные экологические единицы региона географически соответствуют зонам эколого-географической и биогеографической типологий, расчлняя территорию на две структурно-однородные зоны – южную (аграрную) и северную (лесопромышленную) с Кильмезским анклавом. Граница зон корневых таксонов биогеографического районирования соответствует нулевым значениям главного фактора $G^{(1)}(X_n^L)$ векторов расчетных оценок эколого-хозяйственного состояния территорий ландшафтных комплексов области (86% дисперсии). Широкая зональность, в основном, определила состав растительности и, опосредованно, структуру видов хозяйственной деятельности (меридиональные градиенты $q_8(X_n^a)$ - оценок сельского хозяйства и $q_3(X_n^a)$ - лесопользования противоположны), а также воздействия на окружающую среду и условия жизнедеятельности населения. В границах данного районирования проявляются и ареалы ресурсов промысловых животных, наиболее переменчивых видов орнитофауны, индикаторных видов – скворца и бурундука. Кроме того, в рамках предложенного экспертно-аналитического подхода проведены "интегральные районирования" по

орнитологическим данным (типизация по индикаторам – откликам, а также по факторам – предикторам моделей).

На границе зон большинство признаков изменяется монотонно, однако ряд показателей достоверно претерпевают скачок – устойчивость геологической среды, покрытая лесом площадь (хвойные породы, средневозрастные леса), древесно-кустарниковые насаждения (и прочие земли) в структуре земельного фонда и количество дней со снежным покровом. Отмечены земельные и лесные ресурсы, как "региональные инварианты". На надкорневых уровнях классификации территорий географически проявляется и антропогенный фактор – максимальные значения оценки воздействия на природу за счет хозяйственной деятельности (кластер $q_7(X_n^a)$) приходятся на районы вокруг областного центра.

Проведенное эколого-хозяйственное районирование региона позволяет развертывание полигонов фонового мониторинга, помещаемых в центр динамических скоплений каждого из таксонов. В каждой зоне необходимы один - два ОП, размещаемые в пределах заповедных территорий разного статуса). Для Кировской области определены Кайский и Тулашорский ОП для северной зоны региона, Атарский и Нургушский - для южной.

Для установления признаков – первоочередных мониторов РГСЭМ на материалах Кировской области рассмотрен ряд численных моделей "экологическое состояние территорий - факторы среды", позволивших: воздействия на поверхностные воды, ландшафтные комплексы, запасы дикорастущих ягод, биологические ресурсы грибов, растительные ресурсы, встречаемость редких птиц, переменных видов орнитофауны, численности скворца, бурундука как видов-индикаторов, ресурсов промысловых животных, фенотипических индикаторов. Проведены также и оценки социального здоровья на территориях региона. Так например, показано, что для трансформации растительности определяющим является влияние антропогенного фактора среды, для фаунистических маркеров – природные условия, для структуры частот фенотипов белого клевера – зональный и антропогенный факторы, для оценок общественного здоровья, как основная, выступает совокупность социальных причин.

Поскольку, в самом общем смысле, РГСЭМ является информационным пространством, интегрирующим ведомственные службы контроля, то одной из ее функций является их информационное обеспечение. Подобная задача проиллюстрирована на примере важнейших подсистем РГСЭМ – мониторинга биоты и сельскохозяйственных земель. Для них проведены перерасчеты показателей природных процессов, антропогенного воздействия и нозологических учетных форм (в разрезе административных районов $X^{(1)} \in \mathfrak{R}^{40}$) в другие типологии: малых водосборов $X^{(2)} \in \mathfrak{R}^{24}$ и почвенных округов $X^{(3)} \in \mathfrak{R}^{14}$. Конверсия показателей позволяет обеспечивать необходимой информацией подсистемы РГСЭМ, экспертов сети и ЛПР.

Важнейшей задачей РГСЭМ является контроль процессов содержания и массообмена элементов в регионе - эмиссии, выпадений, миграции и депонирования поллютантов, определение основных источников загрязнения, а также установление геохимических особенностей региона. Для Кировской области проведена таксономия территорий по концентрациям микроэлементов в почвах (горизонты А). Выявлены южная, центральная и северная зоны региона, отме-

чается и ряд локальных, структурно отличных, очагов. Аэрогенная обусловленность элементов в почвах за счет выпадений от зоны промышленной агломерации центра области в региональном масштабе не прослеживается.

Для оценки выпадений аэрогенных поллютантов в Кировской области проведены экспедиции по проботбору аккумулярующих бривоиндикаторов двух видов - *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*, а также хвои *Pinus Silvestris*. Отмечено, что средние концентрации 19 химических элементов в лесных мхах и хвое сосны ниже, чем в других регионах. Оценки терригенной обусловленности содержания *Pb*, *V*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Cu*, *Zn* во мхах и хвое сосны за счет легковыветриваемых почв говорят об отсутствии влияния химизма субстрата на их содержание в данных растениях в регионе. Их поля концентраций во мхах географически коррелированы, что указывает на единые причины загрязнений. Для ряда металлов отмечается градиент выпадений металлов на мхи, направленный с севера на юг и проявляется провинция - кластер территорий, с превышением значений концентраций над среднеобластными.

Сравнены средние концентрации элементов в почвах (горизонты *A*), мхах и хвое для агломерации гг. Кирова и Кирово-Чепецка (расчет зоны полей выпадений проведен по модели Н.Л.Бызовой) и территорий четырех опорных полигонов. Получены значимые превышения для почв (*Pb*, *Mo*, *Sr*), для мхов (*Ba*, *P*, *Ti*, *Mn*, *Pb*, *Cr*, *Ga*, *Nb*, *Sn*, *Ni*, *Mo*, *V*, *Cu*, *Ag*, *Zn*, *Zr*, *Co*, B_2O_3 , *U*). Для хвои сосны значимых превышений нет ($t > 2$). Таким образом, по 19 элементам в техногенной зоне центра региона - промышленных объектов гг. Кирова и Кирово-Чепецка проявляется роль антропогенного загрязнения по отношению к их поступлению в природном комплексе - на полигонах регионального фона.

Результаты расчета выпадений *Pb*, *V*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Cu*, *Zn*, *Mo* в комплексных оценках на лесные мхи отмечают единую причину осаждения поллютантов в восточно-центральных и западных районах области, определяемого эмиссией от промышленных территорий - г. Кирова, Урала, и центра России. Эта типология совпадает с зонами выпадений сульфатов и нитратов азота на территории страны, указывает, по видимому на сжигание органического топлива, как основную причину фонового регионального загрязнения. Из всех трех аккумулярующих сред - почвы (горизонты *A*), хвоя сосны и лесных мхов (*Pleurozium Srebery* и *Gilocomium splendens*), последние перспективны как мониторы атмосферных выпадений аэрозоля, содержащего тяжелые металлы. Хвоя сосны для всех техногенных металлов (кроме, возможно, цинка и хрома) не подходит на роль регионального монитора аэрогенных выпадений из-за низкой чувствительности метода эмиссионной спектроскопии.

В концепции РГСЭМ в регионе предусматривается подсистема "дополнительного экологического мониторинга" для обеспечения контроля территорий на локальном уровне, учета показателей, не отслеживаемых ведомственными сетями наблюдений, и получения оценок в разрезах разных типологий. В нее входят научные и образовательные учреждения, добровольные наблюдатели, а также сеть биодиагностики учреждений образования. Включение в систему РГСЭМ добровольных информаторов - лиц, деятельность которых связана с нахождением на природе, позволит при дешевизне сбора и обслуживания системы мониторинга, иметь возможность получения одномоментного "снимка" состояния

больших территорий. Поэтому важнейшей задачей РГСЭМ является поддержка и обучение наблюдателей, а также разработка для них простых, регионально-адаптированных методик оценки состояния окружающей среды.

Отметим, что данная задача социально обусловлена также и задачами экологического воспитания населения. Ее решение весьма наукоемко и, вследствие региональной специфики, требует тщательной проработки в каждом субъекте Российской Федерации. Так школьный экологический мониторинг как подсистема РГСЭМ требует разработки своей концепции, программы, системы параметров, хронологической организации, механизмов реализации и проведения организационных мероприятий. Последний вопрос, применительно к Кировской области, рассматривается в гл. 6. Там же обсуждается и методическое обеспечение параметрической организации ШЭМ, где внимание уделено аспектам лихеноиндикации и фенотипической диагностики территорий.

Вопросы мониторинга региона на локальном уровне - перечни и режимы наблюдений (контактных, дистанционных и визуальных), в том числе опыт создания опорных полигонов РГСЭМ и полигонов импактных зон рассмотрены в гл. 7 и гл. 8. Организация системы РГСЭМ потребовала оценок территорий региона на основе проведения экспедиционных исследований в импактных и референтных зонах области.

В каждом регионе важнейшим вопросом является разработка систем мониторинга на "муниципальном уровне" - обследование и зонирование территории, выбор показателей – мониторов РГСЭМ и их апробация. Актуальный вопрос – нахождение мониторов, отслеживаемых государственными службами и не требующими дополнительных затрат. Проведенный анализ частот аллергических заболеваний (14000 вызовов "Скорой помощи" в г.Кирове), показал, что наибольшие (стандартизированные на возраст и общую вызываемость) частоты острых аллергических приступов сосредоточены в центре города. Нозоареалы аллергических реакций и дерматитов схожи с очагами легочных аллергозов. Очаги аллергических реакций и дерматитов детей и взрослых совпадают, как и для легочных аллергозов взрослого и детского населения. Дополнительные очаги приступов в июньский период цветения трав проявляются на участках, примыкающих к лугам и садам. Нозоареал бронхитов не совпадающий с остальными очагами, а совпадающий с зоной максимального содержания твердых частиц в снеге, также сезонно устойчив. Показано отсутствие сезонных отличий нозоареалов, что при сезонно-неинвариантной розе ветров говорит о слабом вкладе стационарных источников выбросов в этиологию заболеваний. Источником эмиссии аллергенов с сезонно - устойчивым ареалом является автотранспорт. Сочетание бронхиальной астмы с внелегочными аллергозами и наличие аналогичных патологий у всех контингентов населения, указывает на экологическую этиологию, делая перспективными показатели нормированных частот вызовов "Скорой помощи" для ежегодного контроля загрязнения атмосферы. Показатели отслеживаются государственными службами, и не требуют дополнительных затрат на мониторинг.

Любая селитебная территория, включаемая в систему мониторинга на "муниципальном уровне" РГСЭМ требует проведения комплекса исследований для проведения зонирования воздействий на воздушную среду. Однако, из-за

лабильности ее параметров целесообразно рассматривать в аспекте интегрирующего контроля - биодиагностики и депонирования поллютантов.

По данным лишенодиагностики (на липах *Tilia cordata*, 54 квадрата описания) центральная часть г.Кирова находится в зоне с ИЧА < 8. По данным аккумуляции тяжелых металлов (*Cr, Ni, Cu, Co, Pb, Zn, V, Ti, Mg и Fe*) в листьях *Acer negundo L.*, (200 проб), различные комплексные оценки выделяют зоны загрязнения (центральную часть, проявляемую за счет автотранспорта и промзоны города). Географический очаг одного из кластеров показателей, связан с влиянием автотранспорта (в линейной модели $R_{yy} = 0,94$), и выделяет группу *V, Ti, Zn* в листе клена как маркер загрязнений. Обследованы ареалы фенотипов *Trifolium repens* в г.Кирове (на 70 площадках). Максимальное число фенов с рисунком и более редких форм приходится на центр города и северо-западную промышленную зону. Проведено зонирование аэрогенной нагрузки по показателям загрязнения снега (в 54 квадратах г.Кирова). Содержание сульфатов (10 - 14 мг/л) и соединений азота (более 1мг/л) максимально в центре города, где выделяются также два участка с более низким значением рН = 6,6-6,8. Твердая фаза в снеге, проявляется пятнами около источников выбросов.

Верификация показателей экологической напряженности проведена в моделях "отклик биоты - факторы среды". Первый главный фактор (72,7% дисперсии) показателей биодиагностики $Y_k: (Y^{(I)}, Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}, Y^{(A5)}, Y^{(\phi)}) \in \mathfrak{R}^{40}$, зонирование на трех уровнях (наиболее напряженный центр города) и может служить маркером загрязнения атмосферы, вбирающим разнообразие реакций биосистем. Главный фактор $G^{(1)}(Y_k)$ (85% дисперсии) системы пяти откликов биоты - $Y^{(\phi)}, Y^{(A1)}, Y^{(A2)}, Y^{(A3)}, Y^{(A4)}$ индицирует их единую причину. Анализ показал, что $G^{(1)}(Y_k)$ может быть маркером загрязнения атмосферы транспортными источниками. Распределение рельефа поля, построенного на компонентах вектора невязки моделей $\xi(x,y)$ выделяет очаги в городе, интерпретируемые ролью стационарных источников поллютантов. Влияние химического загрязнения на показатели лишенодиагностики ИЧА по χ^2 - критерию допускает три градации зонирования территории. Острые приступы аллергических заболеваний $G^{(1)}(Y_k^{(A)})$, (92% дисперсии) моделируются векторами $Y^{(\phi)}$ частот встречаемости фенов на трех уровнях шкалирования. Результаты моделирования биотических показателей, а также параметров загрязнения снега показали, что они позволяют моделирование с качеством, допускающим до 2-4 градаций шкалы отклика в оценке экологической ситуации, и могут выступать маркерами автотранспорта в загрязнении атмосферы. Установлены наиболее экологически напряженные территории (центральная часть г. Кирова), где необходимо расположить площадки наблюдения.

Создание набора рабочих типологий субъекта федерации, отражающих региональную специфику природных условий и хозяйства, и маркеров экологической ситуации, позволяет оптимизировать систему РГСЭМ в ее наиболее дорогостоящем аспекте - пространственно-параметрической организации, опираясь, на ежегодно актуализируемые базы данных ведомств. Данный аспект мониторинга наиболее зависим от региональной дифференциации природных условий и структуры хозяйства. Это делает актуальной в каждом субъекте федерации анализ упорядоченных структур в пространствах параметров (комплекс-

ные оценки), территорий региона (создание типологий РГСЭМ для размещения полигонов фона и экострессорных зон), а также весов факторов воздействия (в интерпретации для ЛПР).

В территориальном аспекте РГСЭМ единые рабочие типологии мониторинга придадут системность оценкам региона по данным наблюдений ведомств, наборы установленных "приоритетных показателей" – в параметрическом, а использование сетевой среды баз данных - в информационном. Обеспечение типологического единства сети РГСЭМ позволит минимизировать затраты не только на наблюдения, но и на получение достоверных оценок, прогнозов и рекомендаций, что представляет прямой экономический интерес для региона .

На основе проведенной работы по типизации природных условий и факторов воздействий разработана Программа экологического мониторинга территории Кировской области и выработаны механизмы ее реализации. На первом этапе реализации Программы организованы экспедиционные работы по закладке ключевых участков полигонов регионального фона («Нургуш», для зоны листопадных лесов и «Былина», для зоны темнохвойных лесов) и на экострессорной территории (зона п. Марадыковский). Проведены ландшафтные и геоботанические обследования, определены типы почв, оценено состояние природных сред и объектов, выявлены зоны загрязнения в техногенном районе. Проведено зонирование территории методами биодиагностики в зонах хранения отравляющих веществ, выбраны и апробируются биоиндикаторы, заложены ключевые участки ежегодного мониторинга. Создается научный фонд экспедиционных материалов РГСЭМ, исследуются показатели диагностики природной среды на эффективность их использования для описания экологического состояния территорий. С 1996 г. в рамках реализации Программы РГСЭМ - организуется подсистема общественного мониторинга через систему образования. Департаментом образования внедряется ШЭМ в учебно-воспитательный процесс: создается сеть опорных школ, проводится обучение учителей, начата массовая работа по обследованию микрорайонов школ и апробация показателей. Работы проводятся по единому в регионе экопаспорту микрорайона школы, определяющему стандартную территориально-параметрическую организацию мониторинга, с методической поддержкой на базе изданного учебного пособия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая государственная система экологического мониторинга России. Требования к территориальной подсистеме - М.: Минприроды. 1995. - 13 с.
2. Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1996 году" - М.: ЦМП, 1997. –С. 361 - 376.
3. Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 году" - М.: ЦМП, 1998. –С. 419-429.
4. Кузьмина И.В., Садов А.В., Бурлешин М.И., Пискун И.И. Основные положения по организации и проведению работ на полигонах аэрокосмического мониторинга. –М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. –34с.
5. Донченко В.В. Оценка экологического состояния лесных биоценозов комплексом методов биоиндикации и дистанционного зондирования. Автореферат ...канд.геогр. наук. СПб. 1998. - 24 с.
6. Корытин Н.С. и др. Разработка системы биомониторинга Кировской области: Отчет ИЭРиЖ УО РАН. - Екатеринбург, 1994. – 317 с.
7. Андронников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв. - М.: Колос, 1979.
8. Василенко В. и др. Анализ пространственных неоднородностей загрязнения снежного покрова. // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1986. - Вып. 4. - С. 68-74.
9. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация. М.: Наука, 1985.
10. Востокова Е.А., Кельнер Ю.Г. Картографический мониторинг природной среды на основе космической информации // Космический мониторинг биосферы. – Вып.1. -Л.: Наука, 1985. -С.24-29.
11. Johannessen O.M. e.a. Enviromental monitoring of the St. Pet. Region using ERS date. // Proc. 3-d symp. On Space at the service on Enviroment. Florence. 1997. (ESA SP-414. V3. 1997) - С. 325-330.
12. Виноградов Б.В., Орлов В.П., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН, сер. геогр. 1993. N5. - С. 77-89.
13. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. - М.: Минприроды, 1992. – 58 с.
14. Керженцев А. и др. Биологические методы в системе регионального экологического мониторинга на биосферной станции Пущино // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1984. - Вып. 2. - С. 92-97.
15. Смит Дж. Модели в экологии. - М.: Мир, 1976. - 184 с.
16. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика. - СПб.: Братство, 1994. - 365с.
17. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 607с.
18. Райфа Г. Анализ решений. М.: Наука, 1977. - 210 с.
19. Мирзеханова З.Г. Эколого-географическая экспертиза территории - основа ее экологического планирования и управления. // Автореф. ...док .геог. наук. Владивосток. 1998. - 48с.
20. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской. - М.: МГУ, 1994. - 272 с.

21. Рабочая книга по прогнозированию / Под ред. И.В. Бестужева-Лады. - М.: Мысль, 1982. - 430 с.
22. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. - М.: Финансы и статистика, 1988. – 263 с.
23. Основы эколого-географической экспертизы//под ред. К.Н.Дьяконова и Т.В. Звонковой. М.: МГУ. 1992. – 240с.
24. Матвейков Г.П. и др. Справочник по дифференциальной диагностике внутренних болезней. - Мн.: Беларусь, 1990. - 607 с.
25. Темников Ф.Е. Высокоорганизованные системы // Большие системы (теория, методология, моделирование). - М.: Наука, 1971. - С. 250.
26. О.И. Ларичев. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука. 1979. –197с.
27. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. - Новосибирск: Наука, 1988. - 327 с.
28. Израэль Ю.А. Основные принципы мониторинга окружающей природной среды и климата // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. - Л.: Гидрометеоздат, 1980. - С. 5-13.
29. Жилинскас А.Г., Шалтянис В.Р. Поиск оптимума. М.: Наука. 1989. –125 с.
30. Попов Э.В. Особенности разработки и использования экспертных систем // Искусственный интеллект. - М.: Радио и связь, 1990. - Кн. 1. - 322 с.
31. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем – Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. -280 с.
32. Ашихмина Т.Я., Сюткин В.В. Комплексный региональный экомониторинг на примере Кировской области. - Киров.: Изд. ВГПУ, 1997. - 288с.
33. Крестовский О.И. Состояние водного баланса и тенденции изменения весеннего стока в связи с использованием лесов Волго-Камского междуречья // Влияние хозяйственной деятельности человека на популяции охотничьих животных и среду их обитания. Киров, 1980. Т. 1. С. 13-17.
34. Федоров В.Д. Проблема оценки нормы и патологии состояния экосистем // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С.6-12.
35. Alberti M., Parker J.D. Indices of enviromental quality. The search for credible measures // Env. Impact. Assess. Rev. 1991. Vol. 11, 2. - P. 95-101.
36. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1968. –284с.
37. Разработка системы индикаторов для оценки состояния биоты на техногенных территориях Кировской области. Отчет о НИР, научный руководитель О.А.Жигальский. Екатеринбург, ИЭРиЖ. 1998. -С.52.
38. Пен Р.З., Менчер Э.М. Статистические методы в целлюлознобумажном производстве. М.: Лесная пром-сть, 1973. 120с.
39. Гимерверт Д.А. Информационно-методическая поддержка принятия управленческих решений в области оптимизации качества окружающей среды. Автореферат ... канд. тех. наук. Ижевск. : 1996. - 24 с.
40. Методические рекомендации по определению реальной и допустимой нагрузки вредных факторов окружающей среды на население. М.: Минздрав. -8с.

41. Израэль Ю.А. и др. Методологические аспекты осуществления фонового мониторинга состояния биоты суши.// Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1986, -С.8-21.
42. Подуст А.Н. Концептуальные и организационно-правовые основы создания системы мониторинга на уровне субъекта федерации //Проблемы региональной экологии. №1,1996. -С.19-29.
43. Узунов Бл. Разработка рекомендаций по периодичности наблюдений на базовых станциях // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1985. - Вып. 3. - С. 35-37.
44. Матушкевич Я. Выбор основных территориальных единиц для нужд экологического мониторинга в Польше // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1982. - Вып. 1. - С. 215-217.
45. Матушкевич Я. Выбор параметров, характеризующих экологические системы ландшафтов (ландшафтные биоконплексы), в целях прогнозирования изменений биосферы // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1982. - С. 231-235.
46. Матушкевич Я. Предварительная характеристика чувствительности ландшафтных биоконплексов в Польше // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1985. - Вып. 3. - С. 91-96.
47. Кожухаров С., Пеев Д. Некоторые аспекты фитопопуляцион ного мониторинга//Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1985. - Вып.3. - С. 79-85.
48. Оливериусова Л. Оценка состояния окружающей среды методом комплексного биоиндикатора // Биоиндикаторы и биомониторинг. - М.: Наука, 1991. - С. 39-42.
49. Состояние окружающей среды Московской области в 1997 году: Региональный доклад. – М.: 1998. - 203 с.
50. Чичева Т., Петрухин В. К вопросу о фоновом мониторинге почв // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1990. - С. 106-116.
51. Блануца В.И. Интегральное экологическое районирование : концепции и методы. – Новосибирск: Наука. 1993. –158с.
52. Новицкий П.В., Зограф П.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 301 с.
53. Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. - М.: Мысль, 1980. – 223 с.
54. Дементьев Л.Ф. Системные исследования в нефтепромысловой геологии. - М.: Недра,1988. – 204 с.
55. Олдендерфер М.С. , Блэшфилд К. Кластерный анализ.//Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. –М. ФиС. 1985. –С.139-215.
56. Агиштейн М.Э.,Мигдал А.А. Как увидеть невидимое//Эксперимент на дисплее. -М.: Наука, 1989. - С.141-170.
57. Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. - М.: МГУ, 1965. - 224 с.
58. Добровольский Г.В и др. Доклад делегатов 7 съезда ВОП. -Ташкент, 1985. Т.6. -С.255-266.

59. Корытин Н.С. и др. Концепция системы регионального мониторинга биотических компонентов Кировской области // Проблемы оценки состояния почв, растительного и животного мира: М-лы семинара. - Киров, 1995. - С.56-59.
60. Копысов И.Я. и др. Региональная программа мониторинга сельскохозяйственных земель Кировской области. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - 131 с.
61. Временные указания по определению вредных веществ в атмосферном воздухе для нормирования выбросов и установления ПДВ. - М.: ГМИ, 1981.
62. Постановление Правительства РФ от 14 марта 1997г. №307 "Об утверждении Положения о ведении государственного мониторинга водных объектов".
63. Сухих В.И. Комплексный ресурсный и экологический мониторинг лесов // Лесное хозяйство. 1995. №1. - С. 5-7.
64. Положение о социально-гигиеническом мониторинге // Медицина труда и пром. экол. 1995. N4. - С. 45-47.
65. ТерКСОП. Территориальная комплексная схема охраны природы Кировской области на период до 2005 года/ЛенНИИГрадостроительства. Шифр 1406. Инв. N9-2-а. - СПб., 1991. Т.Т. 1-5.
66. Стурман В.И. Основы экологического картографирования// -Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 1995. - 221с.
67. Атлас Кировской области., М.: ФСГиК, 1997 г. - 32 с.
68. Кузницын М.А. Проблема природного районирования Кировской области//Вестник ВятГПУ вып.2. 1997. -С.11-12.
69. Эколого-географическая карта России, М 1:4000000, М. ГУГК, 1996г.
70. Разумовский С.М. Ботанико-географическое районирование Земли как предпосылка успешной интродукции растений // Интродукция тропических и субтропических растений. - М.: Наука, 1980. - С. 10-27.
71. Разумовский С.М. Об организации сети комплексных станций фонового экологического мониторинга // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1986. - Вып. 9. - С. 98-109.
72. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука. 1974. - 299 с..
73. Максимовский В.А. и др. Эколого-геохимическая карта почв Кировской области. -С-Пб., 1996.
74. Кокорева К.Л., Яхнин Э.Я., Рогозин Д.И. Особенности геохимического состояния почв // Окружающая природная среда Кировской области / Под ред. Т.Я. Ашихминой и др. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - С. 86-102.
75. Кокорева К.Л. и др. Влияние ТЭЦ-4 на состояние окружающей среды// Окружающая природная среда Кировской области / Под ред. Т.Я. Ашихминой, В.М. Сюткина, Н.А. Буркова. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - С. 309-323.
76. Леме Ж. Основы биогеографии. М.: Прогресс, 1976. - 308с.
77. Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов. - М.: Наука, 1981.- 214 с.
78. Здоровье населения области и деятельность учреждений здравоохранения: Статистические материалы. – Киров. (1988-1997).
79. Ключков В.А. Оценка эколого-хозяйственного состояния территорий Кировской области//Региональные и муниципальные проблемы природопользования: М-лы 4-й Межрег. научно-практ. конф. - Кирово-Чепецк, 1996. - С. 48-49.

80. Ключков В.А. Княжин С.Л. Природно-ресурсный потенциал// Природа, хозяйство и экология Кировской области//Под ред. В.И.Колчанова, А.М. Прокашева. -Киров: 1996. - С. 380-398.
81. Doil R., Peto R. The causes of cancer: quantitative estimated of avoidable risk of cancer in the U.S.//J. of the National Cancer Institute, 66, 1981. - P. 1191-1308.
82. Higginson I., Muir C.S., Environmental cancerogenesis: misconceptions and limitations to cancer control //J. of the Nat. Cancer Institute, 63, 1978. - P. 1281-1298.
83. Кировская область в 1994 г.: Статист. ежегодник. - Киров, 1995. - Ч. 1-3.
84. Каталог изданий и информационных услуг на 1995 год. - Киров: Обл. комитет госстатистики, 1995. - 28 с.
85. Миланова Е.В., Альтшулер И.И., Мнацанакян Р.А. Концепция мониторинга и проблемы регионального природопользования //Географическое прогнозирование и охрана природы. М.: МГУ. 1990. –С.4-9.
86. Прокашев А.М. Почвы Вятского края.Киров. 1992. – 88 с.
87. Н.В. Глотов и др. / Биометрия, Л.: ЛГУ, 1982. - 263с.
88. Иноземцев А.А. Плотность населения птиц европейской части СССР и факторы ее определяющие//Экология, №1, 1992. - С. 60-65.
89. Реймерс Н.Ф. Экология. Теория, законы, правила, принципы и гипотезы. - М.: Россия молодая, 1994. –365с.
90. Б.Д. Злобин, Т.С. Носкова / Редкие животные и растения Кировской области. Киров: ВВКИ, 1988. -176 с.
91. Барановский В.А. Комплексное картографирование влияния климатопогодных условий на распространение сердечно-сосудистых заболеваний среди сельского населения Украинской ССР// Географические аспекты рационального природопользования. М-лы науч. конф. Киев: Наукова думка. 1989. –С.120-124.
92. Методические подходы к оценке и регламентации экологической нагрузки на примере Пермской области. – Пермь: 1992. - 54 с.
93. Статистическая оценка особенностей распространения и динамики заболеваний злокачественными новообразованиями: Метод. рекомендации. - М.: МЗ СССР, 1990. – 32 с.
94. Брук Б.Н. Бурков В.Н. Методы экспериментальных оценок в задачах упорядочивания объектов // Изв. АН СССР, Технич. кибернетика, № 3. 1972. –С.29-39.
95. Окружающая природная среда Кировской области /Под ред. Т.Я.Ашихминой, В.М.Сюткина, Н.А.Буркова. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - 488 с.
96. Тихомиров Н.П. Социально-экономические проблемы защиты природы. - М.: Экология, 1992. - С.201.
97. Звизняцковский Я.И., Бердник О.В. Роль антропогенных факторов окружающей среды в процессе формирования здоровья населения больших городов. - М.: МГЦНТИ, 1989. - С.24.
98. Антоновский М.Я. и др. Статистический анализ данных по глобальному индексу вегетации//Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Т.14. Л.: Гидрометеиздат. 1992. - С.153-172.
99. Галкина Н.А. Биогеохимический мониторинг агролесоландшафтов Центрально -Черноземной зоны // Автореф. ...канд. биол. наук. М. 1997. - 24с.
100. Жигальский О.А., Воробейчик Е.Л. Разработка и апробация методов биодиагностики экологических систем на фоновых территориях и в зонах с высокой

- антропогенной нагрузкой, адаптированных к природным условиям Кировской области. Отчет о научно-исследов. работе. Екатеринбург, ИЭРиЖ. 1997. -С.61.
101. Folkesson L. Interspecies calibration of heavy metal concentration in nine mosses and lichens: applicability to deposition measurement. *Water Air Soil Poll.*,11, 1979. - 253 p.
102. Ruhling A. e.a. Survey of Atmospheric Heavy Metal Deposition in the Nordic Countries in the 1985 Monitored by Moss Analysis. Copenhagen: 1987. – 54 p.
103. Grodzinska K. Mosses as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Polish National Parks /*Water, Air & Soil Poll.* 9, 1978, p. 83-97.
104. Ruhling A., Tyler G. Heavy Metal Deposition in Scandinavia /*Water, Air & Soil Poll.* 2, 1973. p. 445-455.
105. Folkesson L. Interspecies calibration of Heavy Metal Concentration in nine mosses and Lichens /*Water, Air & Soil Poll.* 11, 1979. p. 263-260.
106. Черненкова Т.В. Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния предприятий//Пограничные проблемы экологии. Сб. науч. трудов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. -С.116-127.
107. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях.-М.: Мир, 1989.- 439 с.
108. Касимов Н.С. Проблемы и опыт эколого-геохимического анализа ландшафтов//Географическое прогнозирование и охрана природы. М.: МГУ. 1990. –С. 59-74.
109. Зырин Н.Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах Русской равнины // Почвоведение. 1968. N7. С. 77-87.
110. Мотузова Г.В. Уровни и природа варьирования содержаний микроэлементов в почвах лесных биогеоценозов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.14. СПб., 1992. С.57-68.
111. Бурцева Л. и др. Оценка состояния загрязнения атмосферы фоновых районов СССР тяжелыми металлами//Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1990. - Вып. 8. - С. 3-21.
112. Расуна J.M. Trace element emission from antropogenic sources of Europe/Technical report No.10/82. Referens: 24721. Date: 2,1983. Norwegian Inst. For Air Research.
113. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. - 279 с.
114. Обзор фонового состояния окружающей природной среды в СССР за 1988г. М.: Гидрометеоздат. 1989. – 102 с.
115. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР. Статист. сборник / М.: Финансы и статистика. 1989. -С.174.
116. Ровинский Ф. и др. Фоновое загрязнение природных сред и методы его изучения// Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1989. - Вып. 7. - С. 3-13.
117. Ашихмина Т.Я., Сюткин В.М., Ситяков А.С., Кантор Г.Я.. Оценка загрязненности окружающей среды тяжелыми металлами по их содержанию в растениях//Окружающая природная среда Кировской области /Под ред. Т.Я.Ашихминой и др. - Киров: ВГПУ, 1996. - С.149-165.

118. Freedman B., Hutchinson T.C. Pollutant inputs from the atmosphere and accumulations in soils and vegetation near a nickel-copper smelter at Sudbury, Ontario, Canada // *Can. J. Bot.* 1980. Vol. 58, N 1. P. 108-132.
119. Ruhling A., Tyler G. Heavy metal pollution and decomposition of spruce needle litter // *Oikos*. 1973. Vol.24, N3. P.402-416.
120. О состоянии окружающей природной среды Кировской области в 1993 году: Региональный доклад. - Киров, 1994. - 142 с.
121. Н.Л.Бызова. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. М.: ГМИ. 1974. - 226 с.
122. Френкель М. О. Климат // *Природа, хозяйство и экология Кировской области* // Под ред. В. И. Колчанова, А. М. Прокашева. -Киров: 1996, - С.115-136.
123. Мур Н.У. Глобальный мониторинг: английский опыт наблюдения за химическими и биологическими аспектами жизни животных и растений // *Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды: труды Международного симпозиума*. Л., 1980. С.321-326.
124. Behar Sh. So you want to work with school. // *Volun. monit.* 5.№1.1993. -P.3-5.
125. R. Thall. High schoolers as Teachers// *Volunt. monitor.* 5, №1, 1993. -P.5.
126. M. Mitchell. Students test for toxics. // *Volunt. monitor.* 5, №1, 1993. -P.9-11.
127. *Volunteer monitor.* V.7, №2, 1995. -P.21.
128. Ely E. Urbanisation an water quality: a crash course. // *Volunt. monit.* V.7, №2, 1995. -P.6-7.
129. R. Hunter. Drain stencilling: the street river connection// *Vol. monit.* V.7, №2, 1995. -P.8-10.
130. Экология родного края. - Киров: Вятка, 1996. - 720 с.
131. Hawksworth D.L. Literature on air pollution and lichens. 4 et 5 // *Lichenologist*. 1976, 7. P.62-66. - P. 173-177.
132. Трасс Х.Х. Биоиндикация состояния атмосферной среды городов// *Экологические аспекты городских систем*. -Минск: Нав. і техн. 1984. -С.96-109.
133. Barkman J.J. De verarming van de cryptogamenflora in ons land gedurende de laatste honderd jaar // *Natura*, 58, 1961. - P.141-151.
134. Hawksworth D.L., Rose F. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide pollution in England and Wales using epiphytic lichens // *Nature*. 227. 1970. - P.145-148.
135. De Sloover J., LeBlanc F. Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity // *Proc.of the symp. on advanced in tropical ecology*. Varnasi, 1968. - P.42-56.
136. Трасс Х.Х. Лишайники и загрязненность воздуха // *Жизнь растений*.-М.: Просвещение, 1977.-Т.3.- С.431-432.
137. Солдатенкова Ю.П. Малый практикум по ботанике. Лишайники. -М.: МГУ, 1977.- 308 с.
138. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. -М.: Наука, ГРФМЛ, 1988. – 480 с.
139. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. -М.: Наука, ГРФМЛ, 1968. – 288 с.
- 140.Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. М.: Мир, 1988. - 429 с.
141. Раменский Л.Г. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

144. Миркин Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 137 с.
142. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1983. 291 с.
143. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во МГУ, 1962. 227 с.
145. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология: принципы и методы. М.: Наука, 1978. 211 с.
146. Яблоков А.В., Ларина Н.И. Введение в фенетику популяций. - М.: Высшая школа, 1985. - 267 с.
147. Жигальский О.А. Оценка информативности индикаторных характеристик экосистем // Проблемы оценки состояния почв, растительного и животного мира: М-лы регионального научно-метод. семинара. - Киров, 1995. - С. 39-47.
148. Соколов В.Е. и др. Принципы организации и программа экологического мониторинга в биосферных заповедниках // Теоретические основы и опыт экологического мониторинга. М.: Наука. 1993. -С.222-231.
149. Intern. Go-operative progr. on Integrated Monitoring: Field & Labor. Manual (Nat. Board of Water & Environment, Finland, 1989. - 443 p.).
150. Ровиньский Ф., Черханов Ю. Организация и методы фонового комплексного мониторинга загрязнения природных сред // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. - Л.: ГМИ, 1985. - Вып. 3. - С. 19-26.
151. Жигальский О.А., Воробейчик Е.Л. Проблемы экологического нормирования техногенных нагрузок // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: М-лы 4-й науч.-прак. конф. - Кирово-Чепецк, 1996. - С. 34-35.
152. Охорзин Н.Д. Природные факторы и ландшафтно-экологическая характеристика области // Окружающая природная среда Кировской области: М-лы научных исследований / Под ред. Т.Я. Ашихминой, В.М. Сюткина, Н.А. Буркова. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - С. 68-86.
153. Дончева А.В., Казакова П.К., Калуцков В.Н. /Ландшафтная индикация загрязнений природной среды, М.: Экология, 1992. -256 с.
154. Степанов А.М. Биоиндикация на уровне экосистем //Биоиндикация и биомониторинг. М.: Наука. 1991. -С. 59-64.
155. Н.А.Бурков, Н.М.Корсаков. О состоянии экологической паспортизации предприятий и территорий Кировской области //Сб.: Региональные и муниципальные проблемы природопользования. М-лы 4-й Межрег. конференции – Кирово-Чепецк.: 1996. -С.17-19.
156. Коровин В.В. и др. Подходы к оценке состояния лесных растительных ассоциаций в предполагаемых районах строительства объектов по уничтожению химического оружия //Российский. химич. журнал, т. 37, вып.3, 1993. - С .96-99.
157. Шляхтин Г.В. Модель экологического прогноза экосистем в районах хранения и уничтожения химического оружия //Российский химический журнал, т. 39, вып.4, 1995. -С.111-113.
158. Зубова Т.И. Оценка состояния экологической ситуации в районе потенциально опасных объектов на примере Кильмезского захоронения ядохимикатов и Марадыковского арсенала химического оружия// Региональные и муниципальные проблемы природопользования. М-лы IV Межрег. науч.-практ. конференции. Кирово-Чепецк, 1996. -С.36-40.

159. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор. Ч.2. Новосибирск : ГПНТБ СО АН СССР, 1989. –154с.
160. Малыхин Ю.А. Эколого-гигиенические показатели качества городской среды// М.: Экология городов, №2. 1994. – С. 43-50.
161. Волкодаева М.В. Методы прогноза загрязнения воздуха выбросами автотранспорта Труды ГГО, СПб. Вып. 547, 1998. - С.88-99.
162. Агаджанян Н.А., Гичев Ю.П., Торшин В.И. Экология человека. Избранные лекции. –Москва, Новосибирск: РЭА.1997. - 355 с.
163. Гичев Ю.П. Современные проблемы экологической медицины. – Новосибирск: Изд-во СО РАМН.1996. - 305 с.
164. Волкодаева М.В. Анализ и прогноз загрязнения воздуха выбросами автотранспорта // Автореферат ...канд.геогр. наук. СПб. 1998. - 24с.
165. Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды. - М.: Мир, 1979. – 200 с.
166. Жданов Н.В. Генетический мониторинг белого клевера // Муниципальные проблемы природопользования: М-лы конфер. - Кирово-Чепецк, 1994. - С. 25.
167. Ратанова М.П. и др. Оценка степени экологической опасности городов России для здоровья населения// Вест. МГУ, сер.5, География, №3, 1995. –С.56-62.
168. Налимов В.В. Теория эксперимента. –М.: 1971. - 207 с.
169. Сотников В.Н. Птицы. Энциклопедия земли Вятской. Т. 7. Природа. – Киров. 1997. -С.439-458.
170. Справочник по профессиональной патологии/ Под ред. Грацианской Л.Н., Ковшило В.Е. -Л.: Медицина, 1981. – 374 с.
171. С. Батчер, Чарлсон Р. Введение в химию атмосферы //М.: Мир. 1977. – 270 с.
172. П.Л.Горчаковский, Е.В.Козлова. Синантропизация растительного покрова в условиях заповедного режима // Экология, №3, 1998, -С. 171-173.
173. United Nation. Indirect techniques for demographic estimation. N.Y.: United Nation. 1983.
174. Отчет по теме "Социально-экономическая безопасность развития региона в условиях становления рыночной экономики до 2000 года" Этап № 2 (за 1998г.) Науч.рук. Т. Я. Ашихмина, Киров - 1998. -198с.
175. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. –М.:Недра, 1990. -142с.
176. Кокорева К.Л. и др. Эколого –геохимические особенности почв города // Окружающая природная среда Кировской области / Под ред. Т.Я. Ашихминой и др. - Киров: Изд-во ВГПУ, 1996. - С. 305-309.
177. Шихова Н.С. Биогеохимическая оценка состояния городской среды // Экология, №2, 1997, -С. 146-149.
178. Исследование влияния хозяйственной деятельности на состояние экосистем природного комплекса и здоровье человека в зонах промышленных агломераций и на фоновых территориях Кировской области. Отчет КГПИ. Депонир. в ВНИИЦ, № ГР 01970008916, инв.№ 029.80004099, Киров, 1998г., –285 с.
179. Moore N.W. A pesticide monitoring system with specialreference to selection of indicator species // J.Appl.Ecol.1966. v3. –P.21-269.
180. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. - М.: Наука, 1985.

Научное издание

Сюткин Виктор Михайлович

Экологический мониторинг административного региона
(Концепция, методы, практика на примере Кировской области)

Лицензия ЛР № 020507 от 4.08.1997г.

Усл. печ. Листов 14,5. Тираж 300 экз. Заказ №151
Вятский государственный педагогический университет,
610002, г.Киров, ул.Ленина, 111.
Мини-типография, г.Киров, ул. Розы Люксембург, 30