

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ  
ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
СИСТЕМ**

САРАНСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
2004

УДК 55:574  
ББК У04  
Г367

Рецензенты:  
доктор географических наук профессор *Е. Ю. Колбовский*;  
кандидат географических наук доцент *В. М. Кицис*

Авторский коллектив: **А. А. Ямашкин, А. В. Кирюшин, А. К. Коваленко, В. Н. Сафонов, Ю. К. Стульцев, Ю. Д. Федотов, В. Н. Масляев, С. А. Москалева, А. М. Шутов, М. В. Ямашкина, М. В. Кустов, А. В. Ларина**

Научный редактор и составитель *А. А. Ямашкин*

Работа выполнена по грантам РФФИ (проект № 02-05-64874), «Университеты России» (проект УР.08.01.015), Правительства Республики Мордовия (Территориальная комплексная схема охраны природы Республики Мордовия на базе ГИС-технологий).

**Г367** **Геоэкологический анализ состояния природно-социально-производственных систем / А. А. Ямашкин, А. В. Кирюшин, А. К. Коваленко и др.; науч. ред. и сост. А. А. Ямашкин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – 260 с.**  
ISBN 5–7103–1103–0

В монографии излагается опыт геоэкологического анализа и оценки состояния региональных и локальных природно-социально-производственных систем на примере Республики Мордовия. Работа основана на анализе полевых и экспедиционных исследований НПЦ экологических исследований Мордовского государственного университета и изучении фондовых материалов Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Республике Мордовия.

Для проектировщиков, географов, геоэкологов и других специалистов в области природопользования и охраны природы.

**УДК 55:574**  
**ББК У04**

ISBN 5–7103–1103–0

© Авторский коллектив, 2004

## ВВЕДЕНИЕ

---

Обострение геоэкологических проблем определяет актуальность проведения региональных исследований, направленных на оценку современного состояния окружающей среды, решение задач качественного улучшения средо- и ресурсовосстанавливающих функций природных территориальных комплексов, испытывающих в настоящее время значительную техногенную нагрузку. В практике эти исследования выполняются для экологического обоснования хозяйственной деятельности при разработке прединвестиционной документации (концепций, программ, схем отраслевого и территориального развития, комплексного использования и охраны природных ресурсов, схем инженерной защиты, районных планировок и т. п.); градостроительной (генпланов населенных пунктов, проектов детальной планировки, проектов застройки функциональных зон кварталов и участков города); предпроектной – обоснований инвестиций в строительство объектов, промышленных предприятий и комплексов; проектной (проектов и рабочей документации для строительства предприятий, зданий и сооружений); организации экологического мониторинга за состоянием геотехнических систем.

В целом важнейшим направлением геоэкологических исследований является разработка проектов формирования культурных ландшафтов, главные особенности которых «...выражаются в следующем: а) гармонизация природной, социальной и производственной подсистем; б) оптимальное и устойчивое функционирование; в) минимизация деструктивных процессов; г) здоровая среда обитания; д) наличие постоянного мониторинга; е) антропогенная регуляция, охрана и уход; ж) высокое художественное достоинство пейзажного облика» [Николаев, 2000, с. 74]. Культурный ландшафт, по В. А. Николаеву, включает три основные составляющие, три подсистемы: природную, социальную и производственную. «Названные составляющие взаимодействуют друг с другом посредством прямых и обратных вещественных, энергетических и информационных связей. Образование культурного ландшафта тогда становится возможным, когда это взаимодействие достигает полной гармонии, когда подсистемы оптимально соотносятся между собой и с целым. Гармоничность культурного ландшафта определяется прежде всего антропогенным фактором, способностью и стремлением социума вести экофильное, рациональное природопользование» [там же, с. 71]. Из изложенного следует, что основным объектом геоэкологических исследований являются природно-социально-производственные системы (ПСПС), под которыми понимаются пространственно определенные совокупности ландшафтных, социальных и хозяйственных элементов, функционирующие как единое целое в силу наличия отношений (связей) между ними и определяющие формирование определенного спектра экологических проблем. Главными задачами при этом выступают: 1) определение средо- и ресурсовосстанавливающих функций ландшафтов; 2) выявление причин обострения геоэкологических проблем в условиях техногенных нагрузок; 3) оценка остроты

проявления геоэкологических ситуаций; 4) установление тенденций развития геоэкологических ситуаций в культурном ландшафте и характеристика (оценка) возможных последствий; 5) ландшафтное планирование хозяйственной деятельности.

Геоэкологическое исследование ПСПС может носить отраслевой или комплексный подход. В первом случае основными объектами исследования являются отдельные подсистемы или их элементы: селитебные, сельскохозяйственные, лесохозяйственные, промышленные, транспортные, горно-технические, рекреационные, природоохранные. Комплексный подход направлен на геоэкологический анализ взаимодействия совокупности природных, социальных и производственных подсистем региона. Он основывается на использовании как традиционных географических и экологических методов, так и методов математико-статистического моделирования с использованием геоинформационных технологий. Конкретными результатами отраслевого и комплексного анализа ПСПС являются схемы геоэкологического районирования – деление территории на части (районы), относительно однородные внутри себя и различающиеся между собой по наличию и остроте проявления экологических проблем, лимитирующих социально-экономическое развитие региона.

Решение геоэкологических задач по анализу и оценке состояния ПСПС основывается на системном, историко-генетическом, ландшафтном, социально-экологическом, природопользовательском и геоинформационном принципах.

**Системный принцип** ориентирует на учет структуры, состава, функционирования, динамики и эволюции всех подсистем: природной, социальной и производственной. Так как для систем характерно свойство эмерджентности, только покомпонентный анализ недостаточен для оценки состояния и прогнозирования поведения ПСПС. Основное место должно уделяться изучению взаимосвязей между частями ПСПС. Изучаются прежде всего их системные свойства: сложность, гетерогенность, устойчивость и пр. Выделение геоэкологических проблем в ПСПС сопряжено с их структурированием – выделением и изучением пространственно-временных характеристик рассматриваемого объекта, его элементарного состава и взаимоотношений между отдельными подсистемами, учет региональной специфики территориальной организации народного хозяйства рассматриваемых регионов, иерархичности (соподчиненности) разноразмерных объектов в рамках ПСПС, динамичности процессов функционирования, энерго- и массообмена в системе. При этом основным направлением исследования является выявление и исследование факторов (причинно-следственных отношений), определяющих особенности функционирования ПСПС, что позволяет сконцентрировать внимание на наиболее значимых геоэкологических проблемах и кризисных ситуациях.

**Историко-генетический принцип** регламентирует необходимость поиска закономерностей развития природных комплексов, систем расселения, хозяйственных элементов в их взаимосвязи. В качестве основных интервалов времени, отражающих состояние культурных ландшафтов, предлагается использовать понятия «этап», «период» и «стадия» [Ямашкин, 2001]. Этапы включают значительные интервалы времени развития ПТК, в рамках которых

происходит качественная смена естественного ландшафта антропогенным. Составной частью этапа хозяйственного освоения территории являются периоды, отличающиеся выраженным преобразованием отдельных частей культурного ландшафта или своеобразным сохранением элементов предыдущего состояния. Характерные трансформации ландшафта в пределах этапов имеют локальный характер. Исторически кратковременные изменения антропогенного (культурного) ландшафта в процессе хозяйственного освоения территории выделяются в стадии. Наблюдаемые геоэкологические ситуации не вызывают качественной трансформации культурного ландшафта. Изучение стадий хозяйственного освоения ландшафтов особенно актуально при анализе современного периода. Это определяется необходимостью оценки устойчивости и геоэкологической безопасности функционирования ПСПС в относительно короткие интервалы времени.

Значимость соблюдения **социально-экологического принципа** состоит в том, что геоэкологическое состояние ПСПС во многом определяется характером принимаемых управленческих решений в обеспечении динамического равновесия во взаимоотношениях природных и производственных подсистем. Социальные образования представляют центральное звено ПСПС. С одной стороны, они зависят от природных и хозяйственных подсистем, а с другой – ошибки в управлении обуславливают развитие многих геоэкологических процессов. В этой связи целесообразно привести следующее высказывание В. А. Николаева: «...в культурном ландшафте социальная составляющая должна обладать высокой экологической культурой. Какой бы совершенный сельскохозяйственный ландшафт ни создали мелиораторы, но если крестьянин-хлебороб не научился в нем по-настоящему культурно работать, деградация земель неизбежна. То же можно сказать о городских, рекреационных и других культурных ландшафтах, эксплуатация которых – большой не только физический, но и интеллектуальный и духовный труд. Использование культурного ландшафта должно быть таким, чтобы он оптимально выполнял свойственные ему социально-экономические функции...» [2000, с. 71]. Социально-экологический принцип при этом рассматривается как осознание геоэкологических проблем в региональных ПСПС и ориентирует на целенаправленную деятельность социума по сохранению и улучшению средо- и ресурсовосстанавливающих функций ландшафтов.

Использование **ландшафтного принципа** нацеливает на признание ведущей роли ландшафтной структуры территории как базового каркаса ПСПС, во многом определяющего развитие деструктивных геоэкологических процессов (карстовых, эрозионных, суффозионных и др.). Полная пространственно-временная организация ПСПС раскрывается на базе использования теории и методов отраслевых направлений современного ландшафтоведения – структурно-генетического, функционально-динамического, геофизического, геохимического, исторического, антропогенного, эстетического (пейзажного) и прикладного [Ямашкин, 2001]. Данный принцип базируется на использовании концепции ПТК, схем типологического и индивидуального ландшафтного районирования изучаемой территории, методики ландшафтного нормирования техноген-

ных нагрузок. Именно на основе комплексного ландшафтоведения в контакте с другими географическими науками, экологией и информатикой в конце XX в. создаются качественно новые предпосылки для развития интегрального научного направления – геоэкологического, изучающего вопросы пространственной организации культурных ландшафтов, планирования их хозяйственного освоения и охраны. Ландшафтный принцип используется при комплексной и компонентной индикации и оценке состояния и прогнозирования поведения ПСПС.

**Природопользовательский принцип** направлен на учет особенностей функционирования и взаимодействия селитебных, промышленных, транспортных, горно-технических, сельскохозяйственных, рекреационных, природоохранных элементов в ПСПС. Он призван обосновать режим использования природных ресурсов с сохранением средо- и ресурсовосстанавливающих функций ландшафтов. Это является основой для экологического обоснования хозяйственной деятельности при разработке прединвестиционных, предпроектных, проектных документов; организации экологического мониторинга за состоянием ПСПС. Важнейшей задачей геоэкологических исследований при этом является разработка комплекса мероприятий по созданию оптимального эколого-хозяйственного баланса региона, обеспечивающего экологическую безопасность, на уровне, к которому физически, социально-экономически, технологически и политически готово общество.

Реализация сформулированных принципов сопряжена с вовлечением в геоэкологическое исследование широкого спектра данных, отражающих свойства и состояние литогенной основы, воздушной среды и климатических процессов, почв, растительности и животного мира, производственных комплексов и здоровья населения. Качественная информационная основа может быть сформирована только при комплексном использовании архивных и фондовых материалов, проведении целенаправленных полевых геохимических, геофизических, гидрологических, гидрохимических, санитарно-гигиенических и других тематических наблюдений на едином базисе. Исходя из этого геоэкологические исследования целесообразно осуществлять на **геоинформационной основе**. Современные ГИС-технологии обеспечивают сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно координированных данных (пространственных данных) для решения научных и прикладных задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления ПСПС.

Геоинформационная модель региона должна обеспечивать интеграцию данных о геоэкологическом состоянии ПСПС и опыта многовекового хозяйственного освоения ландшафтов. Учитывая это, в Мордовском государственном университете создана региональная ГИС «Мордовия», содержащая более 100 тематических слоев электронных карт и баз данных, гипертекстовый электронный атлас природно-социально-производственных систем, учебный краеведческий комплекс «Многоликая Мордовия». Они размещены на сайте кафедры геоэкологии и ландшафтного планирования.

В контексте изложенных принципов сотрудниками НПЦ экологических исследований Мордовского университета выполнены геоэкологические исследования для Схемы районной планировки Республики Мордовия, Федеральной

программы социально-экономического развития Республики Мордовия, Территориальной комплексной схемы охраны природы Республики Мордовия, проведены экологические обоснования генеральных планов населенных пунктов Саранск, Краснослободск, Торбеево, Зубова Поляна, а также инвестиций в строительство ряда промышленных предприятий и комплексов, осуществлено ландшафтно-экологическое зонирование Мордовского национального парка «Смольный» и др. Проведенный геоэкологический анализ ПСПС региона показал, что оптимизация их функционирования во многом связана с решением проблем централизованного водоснабжения, уменьшением техногенного воздействия промышленных предприятий и автотранспорта на геосистемы, предупреждением развития чрезвычайных и катастрофических геоэкологических ситуаций, обусловленных развитием геологической среды.

Синтез информации о состоянии ПСПС республики позволил осуществить геоэкологическое районирование региона, оценить остроту проявления экологических проблем. Их решение имеет трудно измеримый в денежном выражении экономический эффект. Вместе с тем их игнорирование в процессе дальнейшего социально-экономического развития Республики Мордовия может вызвать развитие необратимых процессов загрязнения окружающей среды, истощения ресурсов питьевой воды, уменьшения биологического разнообразия и главное – ухудшения здоровья населения.

Данная монография является продолжением региональных геоэкологических исследований, опубликованных в книгах «Физико-географические условия и ландшафты Мордовии» [Ямашкин, 1998], «Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения» [1999], «Мордовский национальный парк «Смольный»» [2000], «Геоэкология населенных пунктов Республики Мордовия» [2001], «Геоэкологический анализ процесса хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии» [Ямашкин, 2001], «Культурный ландшафт города Саранска (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование)» [2002], «Культурный ландшафт Мордовии (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование)» [2003] и др. Гипертекстовый электронный атлас ПСПС Республики Мордовия и учебный краеведческий комплекс «Многоликая Мордовия» размещены на сайте кафедры геоэкологии и ландшафтного планирования ([geo@mrsu.ru](mailto:geo@mrsu.ru)).

Авторы книги благодарят сотрудников Федерального государственного учреждения «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по Республике Мордовия» за предоставление фондовых материалов, ценные советы и критику по отдельным разделам монографии, а также выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований, Фонду «Университеты России» за материальную поддержку проекта (гранты № 02–05–64874; УР.08.01.015).

# 1. ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

---

## 1.1. Геоэкологическое районирование

Истоки отечественного опыта природно-хозяйственного районирования территории восходят к XVIII в., когда возникла потребность в систематизации материалов о различиях в природе, хозяйстве и населении регионов России и совершенствовании территориального управления страной. Основы разработки этого важнейшего направления были заложены в работах В. Н. Татищева, К. И. Арсеньева, П. Крюкова, Н. П. Огарева и др. Дифференциация географической науки в XX в. дала толчок развитию методологий и методик физико-географического, экономико-географического и отраслевого географического районирования.

Основополагающие вопросы выделения физико-географических комплексов решались в работах Д. Л. Арманда, Л. С. Берга, Н. А. Гвоздецкого, А. Г. Исаченко, Ф. Н. Милькова, В. А. Николаева, А. Е. Фединой и др. Крупнейшей работой этого направления является коллективная монография географов Московского университета «Физико-географическое районирование СССР» [1968]. Физико-географическое районирование направлено на комплексное (ландшафтное) изучение физико-географических стран, зон, секторов, провинций, областей, районов. Во второй половине XX в. происходит логическое обоснование принципов экономико-географического районирования, разрабатываются иерархическая структура таксономических единиц и методы экономико-географического районирования. Значительный вклад в разработку процедур экономико-географического районирования внесли Н. Т. Агафонов, Н. Н. Баранский, Н. Н. Колосовский, Ю. Г. Саушкин и др. Важность этого направления определяется динамичным развитием освоенческих процессов, изменяющих роль отдельных территорий в разделении труда. Основными объектами исследования являются система экономических районов и их ядра – территориальные производственные комплексы.

Существование динамичных взаимосвязей в системе «природа – население – хозяйство» сопровождаются развитием спектра экологических проблем. Среди первых работ, направленных на оптимизацию функционирования ПСПС, нужно выделить коллективную монографию географов Московского университета «Рациональное природопользование и охрана природы в СССР» [1989]. При решении целевой задачи этого специального районирования авторский коллектив исходил из таких положений, как всеобщность природоохранных мероприятий, комплексность подхода к вопросам рационального природопользования и охраны природы с учетом региональной специфики, природно-хозяйственной адаптации, обеспечивающей наилучшее функционирование региональных природно-антропогенных геосистем и заблаговременность проведения природоохранных мероприятий.

Очевидно, что пространственный образ ПСПС определяется тремя группами факторов: природными, социально-экономическими и геоэкологическими. В первую группу в качестве основных факторов входят: природные условия и ресурсы, особенности морфологии ландшафтов и устойчивость геокомплексов; во вторую – положение территории относительно трасс освоения, спектр преобладающих типов освоения и степень насыщенности территории различными типами геотехнических систем; в третью – характер и интенсивность развития деструктивных геоэкологических процессов: экзогенных геолого-геоморфологических процессов, техногенного загрязнения природных комплексов, истощения природных ресурсов, ухудшения здоровья населения и т. д.

Формирование специфических черт геоэкологических условий и процессов происходит вследствие хозяйственного освоения качественно различных типов ландшафтов. Территории интенсивного хозяйственного освоения характеризуются повышенной плотностью населения, значительной долей городского населения, развитой сетью геотехнических систем (селитебных, транспортных, гидротехнических и прочих). При этом, как правило, отмечается развитие широкого спектра геоэкологических проблем, связанных в основном с загрязнением окружающей среды, истощением ресурсов питьевой воды, активизацией инженерно-геологических процессов, уменьшением биологического разнообразия и ухудшением качества жизни населения.

Важнейшей задачей геоэкологического исследования является иерархическое структурирование ПСПС. В качестве основных объектов геоэкологических исследований на *локальном уровне* должны выступать отдельные геотехнические системы или их элементы: строения, населенные пункты, промышленные предприятия, водохранилища, мелиоративные комплексы и другие. При этом устанавливаются особенности антропогенной трансформации морфологических единиц ландшафтов – фаций, урочищ, местностей. Информация о состоянии геокомплексов является основой для разработки конкретных рекомендаций по сохранению ландшафтного равновесия и принятия управленческих решений по природопользованию. Кроме того, в ходе комплексного геоэкологического анализа отдельных геотехнических систем часто возникают задачи исследования их совокупности в пределах конкретного региона, выделения конфликтных зон взаимодействия разных типов геотехнических систем, оценки остроты проявления геоэкологических ситуаций, разработки мероприятий по оптимизации хозяйственного освоения территорий и схемы перспективного планирования хозяйственной деятельности. Кроме того, полученные в ходе исследования исходные данные используются при разработке экспертных оценок состояния геокомплексов на региональном уровне.

На *региональном уровне* геоэкологические исследования направлены в основном на анализ взаимодействия геотехнических систем, выделение проблемных геоэкологических ситуаций значительных территорий для координации деятельности по оптимизации природопользования в крупных природных, административно-территориальных регионах (республиках, областях, краях) или производственных комплексах. На региональном уровне геоэкологических

исследований разрабатываются стратегические варианты хозяйственного освоения региона и выделяются участки, требующие детального изучения.

Геоэкологическое исследование *глобальных (межрегиональных)* процессов хозяйственного освоения ландшафтов предполагает соотнесение локальных и региональных проблем с национальным, континентальным, зональным и мировым «фоном», изучение и картографирование трансграничных переносов продуктов техногенеза, оценку крупных проблем охраны окружающей среды и формирование перспективных программ охраны окружающей среды крупных регионов.

Важной задачей геоэкологических исследований является определение ведущего районообразующего фактора. В большинстве случаев в качестве такового выступают особенности природной дифференциации, но в районах активного хозяйственного освоения ландшафтов и значительной их трансформации для выделения районов существенны тип производственной специализации, степень развитости и режим функционирования геотехнических систем.

В соответствии с изложенным геоэкологическое районирующее территории выполняется в такой последовательности:

- ландшафтное картографирование территории и разработка отраслевых и комплексных схем физико-географического районирующего;
- выявление закономерностей природной дифференциации территории;
- выделение специфических черт хозяйственного освоения ландшафтов, формирующих особенности культурного ландшафта;
- выделение геоэкологических зон интенсивного и экстенсивного хозяйственного освоения ландшафтов;
- оценка структуры выделенных зон и составление характеристик геоэкологических районов;
- выработка рекомендаций по оптимизации хозяйственного освоения ландшафтов.

Данная схема выделения геоэкологических районов исходит из ведущей роли природной основы в районообразовании. Но возможны и обратные процедуры – объединение сходных типов геокомплексов в один тип геоэкологического района в связи с особенностями развития территориально-промышленных комплексов и экологических ситуаций.

Геоэкологический район, выделенный на основе ландшафтного анализа территории и изучения опыта ее хозяйственного освоения, представляет закономерное сочетание природных комплексов, хозяйственное использование которых создало характерные пространственные сочетания земель с различной степенью экологического равновесия для воспроизводства важнейших природных ресурсов и развитием определенного спектра экологических проблем.

Выделение систем геоэкологических районов позволяет определить и обосновать приоритетные проблемы региона (республики, края, области). В зависимости от специфики и сложности геоэкологической ситуации вырабатывается программа хозяйственного освоения ландшафтов с учетом организационных, правовых, экономических, технических и иных аспектов. Она должна

иметь комплексный характер и базироваться на особенностях жизненной среды (природной и искусственной), интересах общества.

Геоэкологическое состояние ПСПС является временной категорией. Адекватная их оценка позволяет выработать систему управленческих решений по оптимизации природопользования. Различают два основных вида управления антропогенными ландшафтами: «жесткое» и «мягкое» [Николаев, 2000]. Сущность первого вида заключается во внедрении технических систем, обеспечивающих искусственную стабилизацию средо- и ресурсовосстанавливающих функций природных комплексов и предотвращение развития чрезвычайных экологических ситуаций посредством строительства очистных сооружений, дамб, каналов и других устройств; реализация этого направления требует колоссальных затрат на приобретение, установку эффективной средозащитной техники и ее эксплуатацию. «Мягкое» управление предполагает создание экологически сбалансированных ПСПС путем адаптации хозяйственной деятельности к структуре природных территориальных комплексов и проведения мелиоративных мероприятий.

Синтез геоэкологического и культурологического подходов позволяет трактовать культурный ландшафт как многоуровневое образование, формирующееся в процессе хозяйственного освоения геокомплексов, включающее разнокачественные природные, производственные и социальные подсистемы и особенности материальной и духовной национальной культуры.

## **1.2. Интеграция ландшафтных исследований как базовая основа геоэкологической оценки состояния природно-социально-производственных систем**

Важнейшими задачами геоэкологического исследования состояния ПСПС являются: 1) анализ происхождения, развития и структуры природных территориальных комплексов; 2) изучение процессов переноса вещества и энергии в условиях спонтанного и техногенного развития геосистем; 3) выявление закономерностей хозяйственного освоения ландшафтов; 4) исследование антропогенных трансформаций ландшафтов и оценка устойчивости природных комплексов; 5) анализ и оценка природного и исторического наследия; 6) прогнозирование развития природных и антропогенных комплексов; 7) разработка системы мероприятий по оптимизации структуры и режима функционирования ландшафтов. В практике эти исследования выполняются для экологического обоснования хозяйственной деятельности при разработке концепций, программ, схем отраслевого и территориального развития, комплексного использования и охраны природных ресурсов, схем инженерной защиты, районных планировок и т. п.; генпланов населенных пунктов, проектов детальной планировки, проектов застройки функциональных зон кварталов и участков города; обоснований инвестиций в строительство объектов, промышленных предприятий и комплексов; проектов и рабочей документации для строительства предприятий, зданий и сооружений; организации экологического мониторинга за состоянием геотехнических систем.

Решение комплексных геоэкологических проблем по оптимизации функционирования и развития ПСПС предполагает организацию синтеза информации структурно-генетического, функционально-динамического, геофизического, геохимического, исторического, антропогенного, индикационного, эстетического (пейзажного), культурологического направлений современного ландшафтоведения, а также смежных с ним географических и экологических наук. Только такой подход позволяет наиболее полно раскрыть пространственно-временную организацию ПСПС, выделить особенности развития деструктивных процессов, выработать мероприятия по оптимизации взаимодействия природной, социальной и производственной подсистем. Отмеченные направления современного ландшафтоведения должны информационно дополнять друг друга, но методология их комплексного использования в настоящее время разработана недостаточно. Для решения этой задачи необходимо определить существенные в данном аспекте особенности каждого из направлений.

Базовой основой геоэкологических исследований должно явиться *структурно-генетическое ландшафтоведение*, основы которого были заложены в работах Л. С. Берга, А. Г. Исаченко, С. С. Неуструева, Б. Б. Плынова, Л. Г. Раменского, Н. А. Солнцева и др. С ранних этапов становления учения о ландшафте сформировались два взаимосвязанных течения: региональное и типологическое. Согласно региональной трактовке, термином «ландшафт» обозначается одна из таксономических единиц классификации природных территориальных комплексов (ПТК). Ландшафт делится на морфологические единицы: местности, урочища, фации. Каждый ландшафт рассматривается как своеобразное, неповторимое явление. В то же время ландшафтное картографирование обширных регионов привело к необходимости типологии природных комплексов – систематизации и классификации территориально разобобщенных участков ландшафтной оболочки. По сути, структурно-генетическое направление составляет основу учения о ландшафте, которое представляет для геоэкологических исследований информацию о пространственно-временной организации ПТК, а также методы ландшафтного картографирования. Как показывает опыт региональных исследований, электронные ландшафтные карты должны составлять центральное звено региональных геоинформационных систем (ГИС), создаваемых для геоэкологической оценки устойчивости, потенциала, состояния ПСПС и ландшафтного планирования хозяйственной деятельности.

Изменчивость состояния ПСПС, связанная с суточной, сезонной, многолетней ритмикой, предполагает активное использование в геоэкологических исследованиях теории и методов *функционально-динамического* направления ландшафтоведения, изложенных трудах Д. Л. Арманда, Н. Л. Беручашвили, А. А. Григорьева, А. М. Грина, А. А. Крауклиса, А. А. Макуниной, И. И. Мамай, В. А. Снытко, В. Б. Сочавы и их последователей. Оно базируется на понятии «геосистема», под которой понимается «особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом...» [Сочава, 1978, с. 292]. По А. А. Крауклису [1979], геосистема представляет собой единство инертных (минеральный субстрат, рельеф), мобильных (различные виды энергии: энергия

Солнца, гравитационная и др.) и биотически активных элементов среды. Информация о функционировании и динамике составляет основу для прогнозирования деструктивных геоэкологических процессов.

Функционально-динамическое направление ландшафтоведения тесно соприкасается с *геофизическими исследованиями ландшафта*, основа которых была заложена в работах А. А. Григорьева, Н. Л. Беручашвили, К. Н. Дьяконова, А. Ю. Ретеюма и др. По определению К. Н. Дьяконова, «геофизика ландшафта – наука о физических свойствах, процессах и пространственно-временной организации геосистем как функционально-целостных объектов. Это прежде всего методическое направление в ландшафтоведении, изучающее роль физических полей в формировании локальной и региональной структуры ландшафтной сферы Земли, физическую (энергетическую, вещественную и информационную) сторону взаимодействия отдельных компонентов геосистем; их радиационный, тепловой и водный балансы; метаболизм со средой; физико-географические факторы фотосинтеза (биопродукционного процесса), трансформацию энергии по трофическим цепям и детритные потоки энергии» [1988, с. 4]. Основываясь на системном подходе, геофизика ландшафтов дополняет геоэкологические исследования информацией о закономерностях пространственно-временной организации геосистем путем построения балансовых уравнений геосистем и уравнений их связи.

Важнейшей составляющей в исследовании ПСПС является оценка их эколого-геохимического состояния. *Геохимическое направление* было заложено в работах Б. Б. Польшова, который отмечает: «То замечательное направление в географической науке, которое предопределяет ее будущее значение синтетического естествознания, следует назвать ландшафтным направлением» [1956, с. 493]. Он определяет ландшафт как систему, осуществляющую взаимодействие природных процессов. В созданном им геохимическом направлении в ландшафтоведении Б. Б. Польшов показал, что миграция химических элементов связывает между собой горные породы, почвы, природные воды и атмосферу. Изучение процессов миграции химических элементов позволяет раскрыть сущность взаимоотношений между компонентами ландшафта и его целостность. Во второй половине XX в. ведется разработка теоретических основ водной, воздушной и биогенной миграции химических элементов в ландшафтах, устанавливаются принципы и методы классификации геохимических ландшафтов, развиваются исследования геохимии техногенных ландшафтов. Крупный вклад в изучение закономерностей миграции, рассеяния и концентрации химических элементов и их соединений в природных и антропогенных комплексах внесли В. И. Вернадский, М. А. Глазовская, Н. С. Касимов, А. И. Перельман, Б. Б. Польшов и др. Перспективы развития геохимии ландшафтов для геоэкологических исследований ПСПС связываются с изучением распространения химических элементов, развитием теории ландшафтно-геохимических систем, разработкой классификации природных и техногенных ландшафтно-геохимических систем, изучением влияния геохимических условий на здоровье населения.

В работах отечественных и зарубежных географов было показано, что культурные ландшафты (ПСПС) относятся к историческим явлениям и их со-

временное состояние во многом определяется долговременной хозяйственной деятельностью человека. Различные стороны проблемы взаимодействия природы и общества исследуются в рамках *исторического ландшафтоведения*. Ключевыми аспектами при этом являются анализ воздействия природных факторов на развитие культуры и хозяйства; влияние природных условий на этногенез и формирование физического типа современного человека; история воздействия человека на ландшафт в связи с решением современных геоэкологических проблем. Определяя основные направления развития исторического ландшафтоведения, В. С. Жекулин отмечает, что задача исторической географии «состоит в изучении последовательно сменяющихся ландшафтных аспектов. В этом смысле аспект характеризует стадию в освоении географического ландшафта» [1982, с. 63]. Он полагает, что неперменной задачей сквозного историко-ландшафтного анализа является определение возраста освоения природного комплекса. При этом нужно отличать время первого заселения территории от периода изменения ландшафтной структуры, обусловленного активным воздействием человека. Различия путей освоения ландшафтов определяются как особенностями развития производства, так и природными условиями. Практическое значение историко-географических исследований в геоэкологическом анализе ПСПС заключается в том, что при работе над моделями взаимоотношений природы и общества прошлого извлекается опыт, важный для решения современных экологических проблем.

Значительный потенциал для геоэкологического исследования состояния ПСПС накоплен в *антропогенном ландшафтоведении*. Среди комплексных работ этого направления ландшафтоведения нужно отметить труды А. Г. Исаченко, Ф. Н. Милькова, В. Б. Михно, В. И. Федотова и др. В них раскрываются такие аспекты, как взаимоотношения общества и природной среды, эволюция отдельных типов антропогенных комплексов и их классификация, вопросы оптимизации использования ландшафтов. В целом создано достаточно целостное представление о возникновении, развитии и функционировании антропогенных ландшафтов. Использование этих ресурсов позволяет оптимизировать процедуры ландшафтно-экологического зонирования исследуемых ПСПС.

Одним из важнейших направлений современного ландшафтоведения является ландшафтно-индикационное, разрабатывающее вопросы диагностики развития природных и техногенных процессов в природе по внешним особенностям ландшафтов. Ландшафтная индикация зарекомендовала себя как надежный метод при оперативной оценке состояния природных комплексов и картографировании трудно наблюдаемых (деципиентных) компонентов геокомплексов (геологических и тектонических структур, гидрогеологических условий, свойств почв и др.). Практическая направленность ландшафтной индикации в геоэкологических исследованиях возросла в связи с активным внедрением в науку и практику аэрокосмических методов. На их базе активно развиваются агроиндикация, геоиндикация, гидроиндикация, природоохранная индикация. Различные аспекты ландшафтной индикации получили развитие в работах С.П.Альтера, С. В. Викторова, А. С. Викторова, В. А. Николаева, А. Л. Ревзона, А. В. Садова и др. Апробация ландшафтно-индикационного метода в геоэколо-

гической оценке состояния ПСПС осуществлена во многих естественных ландшафтах и их антропогенных модификациях. Аэро- и космические снимки должны составлять базовую информационную основу ГИС, ориентированных на анализ глобальных, региональных и локальных геоэкологических ситуаций.

В последние годы активно развивается *культурологическое ландшафтоведение*. В наиболее широкой трактовке «культурный ландшафт» – результат целенаправленного воздействия человека на геокомплексы. В то же время, по образному выражению В. А. Николаева, «культурный национальный ландшафт – "эстафета" поколений. С ним от эпохи к эпохе передаются накопленные веками материальные и духовные богатства нации. Одновременно культурная ландшафтная среда растит и формирует свой будущий социум. Люди строят и оберегают родные этнические ландшафты, а ландшафты духовно созидают и воспитывают людей. В системе "социум – ландшафт" существует прямая и обратная духовная связь [2000, с. 82]. Современные ПСПС содержат напластования разновременных элементов культур разных народов. Поэтому изучение культурных ландшафтов представляется как синтетическое географическое направление, способное объединить не только географов, но и этнографов, историков, экологов в изучении природного и исторического наследия. Обогащение геоэкологического портрета ПСПС оценками эстетики ландшафтов позволяет углубить представления об их пространственно-временной организации, уточнить сценарии их развития.

Как перспективное направление в геоэкологических исследованиях нужно рассматривать *эстетику ландшафта* – раздел ландшафтоведения, возникший на основе контакта эстетики, культурологии, психологии, общей экологии, рекреационного природопользования, ландшафтной архитектуры и изучающий особенности формирования и пространственно-временного распределения эстетических ресурсов ландшафтов (пейзажей). Их эстетическая оценка сопровождается своего рода витком понятийной спирали, возвращающим нас на новом уровне к Гумбольдтовой трактовке ландшафта, к попытке взглянуть на географическую реальность одновременно глазами ученого и художника. Современные теоретические основы эстетики и дизайна ландшафтов изложены в работе В. А. Николаева [2003]. Классиком современного ландшафтоведения проанализированы принципы и методы эстетического восприятия ландшафтов и оценки их эстетических достоинств. Рассмотрены приемы современного ландшафтного дизайна городских, рекреационных и других антропогенных геосистем. Очевидно, что эстетические ресурсы являются важнейшим элементом культурного ландшафта. Задачей геоэкологических исследований является не только исследование эволюции пейзажей культурных ландшафтов, но и их планирование.

Важнейшей задачей геоэкологических исследований является разработка прогноза развития ПСПС. Основы *ландшафтного прогнозирования* закладывались в трудах Т. В. Звонковой, К. Н. Дьяконова, А. Г. Емельянова, В. А. Николаева, Ю. Г. Симонова, В. Б. Сочавы и др. Геоэкологическое прогнозирование основывается на знании причинно-следственных связей в ПСПС, звеньев по-

следовательных событий, вытекающих одно из другого, на экспертных оценках.

Внедрение теории и методов комплексных исследований ландшафтоведения в практику определило формирование *прикладного (конструктивного) ландшафтоведения*. Основы конструктивного ландшафтоведения были изложены в работах А. И. Воейкова, В. В. Докучаева, А. Г. Исаченко, В. С. Преображенского, Д. Л. Арманда, В. Б. Сочавы, В. А. Николаева, Г. Рихтера, В. И. Федотова и др. Важнейшей задачей этого направления является разработка теории и методологии оптимизации использования ландшафтов. В современной науке сложились два направления: изучение зависимости между пространственной структурой землепользования и структурой ландшафтов, проводимое в целях рационального использования природного потенциала, и изучение изменения ПТК под влиянием отдельных типов хозяйственного воздействия. Сложность, многофакторность, длительность формирования антропогенных модификаций ландшафтов требует не только всестороннего пространственного анализа, но и рассмотрения процесса освоения с целью выявления тенденций изменения геокомплексов под влиянием исторически меняющихся типов землепользования.

Выделенные проблемные направления развиваются достаточно обособленно. Качественно новые результаты, на наш взгляд, могут быть получены при развитии интеграционных процессов внутри современного ландшафтоведения, а также во взаимодействии со смежными науками (в первую очередь физико- и экономико-географическими, экологией, информатикой, историей, культурологией). Синтез теории и методов основных проблемных направлений современного ландшафтоведения, творчески обогащенный достижениями других наук, должен составить базовую основу региональных геоэкологических исследований, направленных на формирование культурных ландшафтов.

### **1.3. Системный подход в геоэкологии**

Системные представления в геоэкологии базируются на системной идеологии современной географии, особенно ландшафтоведения. В. С. Преображенский следующим образом оценивает влияние системного подхода на развитие ландшафтоведения [Преображенский, Макаров, 1988]: 1) понимание ландшафта как одного из классов большого семейства геосистем и как одного из видов систем вообще; 2) эволюция и появление широкого набора моделей ландшафта, в том числе хорических; 3) особое внимание к анализу связей, к росту интереса к горизонтальным связям.

В общем случае под системой понимается целостное образование, характеризующееся следующими чертами: множеством признаков (элементов), множеством отношений (взаимосвязей) между ними, множеством взаимосвязей между признаками объекта и внешней средой [Харвей, 1974]. Элементами природных территориальных комплексов как сложных динамических систем выступают, с одной стороны, природные компоненты, с другой – ПТК более низкого ранга. Все элементы характеризуются наличием множества взаимосвязей.

Большое распространение системный подход получил при исследовании структуры ландшафтов [Сочава, 1978; Арманд, 1975; Крауклис, 1979; Пузаченко, 1976; и др.]. В отличие от постулируемых представлений о ландшафте при системном подходе величина и характер отношений заранее не определяются, а являются предметом исследования.

Системный подход, предметом которого является изучение характера и масштабов межкомпонентных отношений, определил структурно-функциональное направление изучения ландшафта, реализовавшееся в рамках двух основных подходов: 1) исследование отношений и структуры на основе анализа сопряженности изменения состояний компонентов в пространстве [Арманд, 1975, 1988; Пузаченко, 1971, 1976; Крауклис, 1979, Дьяконов, 1975, 1988, 1991; Берлянт, 1988; и др.]; 2) сопряженное во времени исследование динамики компонентов с функциональным подразделением их на входы и выходы на основе стационарных измерений [Грин, 1975; Беручашвили, 1986; и др.]. Первое направление опиралось в том числе и на исследование отношений на основе сопряженного анализа специальных карт и обобщения литературных данных.

Внедрение системных представлений существенно ослабило позиции дискретного подхода в ландшафтоведении. Оказалось, что выделение ландшафтов по генетическим признакам – не единственно возможный путь, например, при районировании территории. Был нанесен серьезный удар и по положению о "привилегированности" морфолого-генетических ландшафтных единиц. Было установлено, что в ПТК существуют различные типы связей, что не способствует установлению жесткой иерархии последних. Анализ потоков внутри ПТК и особенно между ними позволил сформулировать принцип ландшафтной полиструктурности, согласно которому элементарные ПТК интегрируются в различные территориальные структуры в зависимости от типа системообразующих отношений [Солнцев, 1981; Швец, Шищенко, Гродзинский и др., 1986].

Анализ сопряженности между компонентами ландшафта стал возможен с появлением непараметрических методов измерения сопряженности в мерах теории информации [Пузаченко, 1971; Дьяконов, 1975; Кульбак, 1967; и др.], которые позволяли оценивать отношения между компонентами при любой форме измерения их состояния и были сравнительно легко реализуемы при минимальных технических средствах анализа данных.

Применение этого подхода показало реальную неоднозначность и сложность связей и отношений, вероятностный характер связи одних и тех же факторов с разными компонентами, часто их реальную низкую взаимозависимость. Более того, было показано, что компоненты растительности организуются таким образом, чтобы минимизировать зависимость друг от друга [Пузаченко, Скулкин, 1981].

С внедрением системного подхода связано понятие об инварианте ПТК, т. е. относительной неизменности его структуры, устойчивости ПТК в целом или его отдельных свойств [Сочава, 1978]. Чаще всего под устойчивостью понимается способность системы возвращаться в состояние равновесия. В принципе все то, что наиболее часто наблюдается в природе, устойчиво. Устойчивая

система находится в равновесии по отношению к окружающим ее условиям, а ее части находятся в равновесии друг с другом [Пузаченко, 1990].

Исследование инварианта ПТК, его устойчивости позволяет рассматривать задачи прогнозирования и нормирования ландшафтов. Процесс нормирования включает в себя следующие составные части: определение положения объекта относительно области его устойчивости и неустойчивости; определение характера допустимых воздействий на объект, не выводящих его из состояния устойчивой области.

В связи с этим важной прикладной задачей ландшафтных исследований является определение «нормальных» (наиболее типичных) состояний ПТК, а также определение области изменения основных ее свойств (переменных), не выводящих систему из области устойчивости (допустимые изменения, допустимые воздействия) и выделение территорий, в которых состояния ландшафтов наиболее удалены от нормы.

Развитие этих представлений в существенной мере дополнило системный подход, и они активно используются, в том числе в геоэкологических исследованиях, где основным объектом являются природно-социально-производственные системы, без сомнения, относящиеся к классу очень сложных системных объектов.

Весьма продуктивной представляется методология системного анализа сложных объектов, предложенная Дж. Клиром [1990]. Он предложил следующую схему этапов исследований, основанную на выделении иерархических уровней систем.

**Уровень 0.** Исходные системы (система, различаемая как система). Исследователь выбирает способ, каким он хочет взаимодействовать с изучаемым объектом. Частично он определяется целью, условиями исследования, а также имеющимися знаниями, относящимися к данному исследованию.

**Уровень 1.** Система данных. После того как исходная система дополнена данными (реальные состояния основных переменных при определенном наборе параметров), она переходит на новый уровень и называется системой данных. Здесь данные уровня 0 упорядочиваются и систематизируются по естественным группам или по способу измерения (база данных).

**Уровень 2.** Порождающие системы. Во множество основных переменных входят переменные, определяемые исходными системами уровня 0, но преобразованные в форму, обеспечивающую их соизмеримость.

**Уровень 3.** Структурированные системы. Системы нижележащих уровней могут здесь соединяться, т. е. могут иметь некоторые общие переменные, которые выявляются в ходе анализа. Эти новые переменные отражают главные особенности отношений.

**Уровень 4.** Метасистемы. На данном уровне определенные ранее отношения рассматриваются как самостоятельные системы, между которыми и выявляются интегральные связи.

Эта логическая схема очень точно отображает основные этапы анализа сложных систем и может быть использована для исследования ПСПС.

**Методология и методика построения исходных систем.** Основная задача исследователя при определении системы нулевого уровня состоит, по сути дела, в определении самого объекта исследования. Любой объект представляет собой часть мира, существующего как единое целое в течение некоторого промежутка времени. Объект характеризуется прежде всего через его свойства и реально может быть представлен через бесконечное количество таких свойств. Поэтому исследователь должен отобрать ограниченное количество характеристик, наилучшим образом описывающих объект как явление [Клир, 1990].

После того как такой отбор сделан, необходимо определить процедуру наблюдения каждого из отобранных свойств, которая и определяет конкретные абстрактные переменные, представляющие некий образ реального объекта. Таким образом, *система всегда рассматривается не как реальная вещь, а как абстрактное отображение некоторых свойств объекта*. Эта система определяется через множество свойств, множество потенциальных состояний (значений), выделяемых для каждого свойства, и способы описания смысла этих состояний.

С каждым свойством связано множество его проявлений, при единичном наблюдении оно имеет одно конкретное проявление. Любое существенное свойство, используемое для определения различий в наблюдениях одного и того же свойства, называется базой [Клир, 1990]. Наиболее часто применяются следующие виды баз: время – пространство, время – группа. Исходя из этого, система представляет собой множество свойств, с каждым из которых связано множество его проявлений и множество баз, с каждой из которых связано множество ее элементов.

Свойства объекта и базы, которыми они различаются в системе, отражаются через переменные и параметры. Под переменной понимается образ свойства, определяемый конкретной процедурой его измерения. Каждая переменная имеет определенное имя и связывается с определенным множеством величин, через которые она себя проявляет. Параметром называется операционное представление базы. Разные наблюдения одной переменной различаются по значениям параметров. Необходимо, чтобы каждое конкретное значение параметра идентифицировало одно и только одно наблюдение соответствующих переменных.

Существенное значение при исследовании системы имеет определение методологических отличий конкретных переменных и параметров. Под данным термином понимаются различия в фундаментальных характеристиках свойств и баз, имеющих существенное методологическое значение [Клир, 1990]. Сущность их применения состоит в том, что если переменная или параметр представляет свойство или базу, то они не могут быть произвольными. Другими словами, характеристики, не подходящие свойству или базе, не следует выделять в соответствующем множестве состояний (для переменных) или параметрическом множестве (для параметров). На данном уровне методологические отличия определяются только для переменных и параметров. Самым элементарным типом методологических отличий на данном уровне является комбинация свойств множества состояний и полного параметрического множества.

Одно из важнейших методологических отличий есть *отсутствие или наличие математических свойств* у множества состояний или соответствующего параметрического множества. Это теснейшим образом связано с упорядоченностью состояний и параметрических множеств. Выделяются переменные номинальные (неупорядоченные), с частичной и линейной упорядоченностью (ранговые и количественные переменные и параметры).

К другим важным математическим свойствам переменных относится *расстояние между парой элементов* изучаемого множества. Эта мера определяется функцией, сопоставляющей любой паре элементов этого множества число, определяющее, на каком расстоянии друг от друга находятся эти элементы с точки зрения некоторого фундаментального упорядочения. Данная функция называется метрическим расстоянием. Оно определяется как на множестве состояний, так и на параметрическом множестве.

Еще одно из важнейших свойств множеств состояний и параметрических множеств – *непрерывность*. Множество состояний любой непрерывной переменной или параметрическое множество любого параметра бесконечно и несчетно. Переменные или параметры, определенные на конечных множествах, или бесконечных, но счетных называются дискретными. Номинальные и ранговые переменные дискретны, количественные могут быть как непрерывными, так и дискретными.

*Упорядоченность, метрическое расстояние и непрерывность* являются важнейшими свойствами переменных, которые должны быть определены на данном этапе исследования.

Основные переменные можно делить на входные и выходные. При таком подходе состояния входных переменных рассматриваются как условия, влияющие на выходные. Системы, где переменные делятся на входные и выходные называются направленными, системы, для которых такое подразделение не задано, – нейтральными.

Отличия между *нейтральными и направленными системами, а также между четкими и нечеткими каналами наблюдения* – еще два важных методологических отличия исходных систем. Любая исходная система является либо нейтральной, либо направленной, а каналы наблюдения ее переменных либо четкие, либо нечеткие, либо смешанного типа. Методологические отличия, определенные для исходных систем, приложимы и ко всем системам более высоких эпистемологических уровней.

На более высоких уровнях системы отличаются друг от друга уровнем знаний относительно переменных соответствующей исходной системы. Таким образом, исходная система представляет собой схему, по которой могут быть сделаны наблюдения отобранных признаков.

**Методика построения систем данных.** Любое реальное наблюдение представляется в виде упорядоченной пары, состоящей из значения полного параметра, при котором было сделано наблюдение, и зафиксированного полного состояния переменных. Так как при одном значении параметра может быть сделано только одно наблюдение, множество этих упорядоченных пар является функцией, отображающей полное параметрическое множество в полное мно-

жество состояний. Эта функция представляет собой данные и порождает первый уровень систем, называемый системой данных.

Данные могут быть представлены в самом разнообразном виде. Наиболее употребляемая форма их представления – матрица, элементами которой являются состояния переменных, наблюдаемые при соответствующих значениях параметров. Для нечетких данных добавляется еще один элемент матрицы, в котором отражается степень уверенности (вероятность) проявления того или иного состояния при том или ином значении параметра.

Важнейшим способом представления геоэкологических данных является карта. Большинство данных о компонентах природы отображается картографическим способом, причем различные авторы этих карт используют в целом слабо сводимые к единым способы их построения и привязки. Поэтому особой задачей на данном уровне является приведение всей системы данных к общей параметрической базе. Только в таком случае она может быть использована на более высоких уровнях анализа системы.

Для систем данных помимо уже рассмотренных методологических отличий выделяются еще два. Первое – отличие *между полностью и не полностью определенными данными*. Данные являются полностью определенными только тогда, когда все элементы матрицы или массива данных определены, иначе они называются не полностью определенными (например, пропуски в данных, связанные с потерей части информации). Второе отличие связано с *линейно упорядоченными параметрическими множествами*.

Линейно упорядоченным параметрическое множество будет, например, в том случае, когда оно определено на единой координатной сетке, т. е. каждая точка наблюдения не только однозначно определяется соответствующим параметрическим состоянием, но и мы можем сказать, насколько она удалена в пространстве либо во времени от других точек наблюдения.

**Построение порождающих систем (подготовка данных к анализу).** Исследование обычно начинается с предварительного анализа статистического распределения данных, выявление наиболее типичных характеристик признака. Для статистического анализа данных очень важным является то, как они даны распределены. Различают распределение дискретных и континуальных (непрерывных) переменных. Когда наименьшее возможное различие между двумя значениями существенно больше нуля, распределение называется дискретным; когда же каждое реальное значение на интервале возможно, переменные являются непрерывными.

Нормальное распределение является распределением непрерывных переменных. Его основной чертой является то, что относительная частота наблюдаемых значений является симметричной к среднему значению. Нормальное распределение описывается двумя параметрами: средним значением и стандартным отклонением [Тюрин, Макаров, 1995]. Известно и следующее свойство нормально распределенной величины, имеющее важное практическое значение (правило трех сигм): нормальная случайная величина с вероятностью 0,9933 попадает в интервал трех среднеквадратических отклонений в обе стороны от среднего значения.

Распределение дискретных значений может описываться биномиальным распределением и распределением Пуассона. Биномиальное распределение имеет место, когда, например, популяция состоит из различных объектов в отношении 1 к 3. Пуассоновское распределение существует, когда мы имеем ряд значений 0, 1, 2, 3, ..., n. Данное распределение может описывать лишь один параметр: среднее значение.

Для количественных данных такая оценка дается на основе расчета различных видов средних величин (средняя арифметическая, средняя геометрическая, мода, медиана и др.), показателей вариации (дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и пр.). Формулы для их расчетов достаточно просты и приводятся как в специальной, так и в географической литературе [Тюрин, Макаров, 1995 и др.]. Оценка того, насколько распределение совокупности данных подходит под тот или иной теоретический тип распределения, может быть осуществлена также на расчете критериев хи-квадрат, Колмогорова и др.

Так как в рамках любого статистического метода оценка отношений строится с учетом среднего и дисперсии, то непрерывные распределения желательно привести к нормальной форме. Это обычно удается сделать с помощью логарифмирования исходных данных. При применении непараметрических методов эта операция в общем необязательна, так как логарифмирование не изменяет порядок отношений.

**Методические аспекты изучения порождающих и структурированных систем. Основные методы обработки и анализа данных.** После определения системы данных начинается следующий этап эмпирического исследования – обработка данных. Его целью является определение некоторых параметрических инвариантных свойств переменных, позволяющих экономно представлять данные и, если нужно, породить их. После того как данные обработаны тем или иным способом, им необходимо дать интерпретацию в соответствии с целями исследования. В том случае, когда на поставленные вопросы получены удовлетворительные ответы, исследование считается законченным. Иначе следует попытаться обработать данные другими способами. В результате имеем набор порождающих систем или систем более высокого уровня, каждая из которых в той или иной степени правильно отображает данные. Если выясняется, что данных недостаточно, то может быть осуществлен дополнительный сбор данных (переопределена система данных). Возможно, что может потребоваться и переопределение исходной системы. Тогда процесс исследования повторяется сначала.

В основе реализации этих уровней лежат два основных подхода [Пузаченко, 1977]. При первом подходе на основе понятийных определений формулируется некоторый образ объекта исследования и его состояний. Второй подход предусматривает выделение состояний объекта по набору наблюдаемых характеристик в конкретном пространственно-временном интервале, причем без введения априорных границ локализаций состояния объекта. Фактически эти два подхода определяются реализацией двух стратегий отображения явлений – дискретным и континуальным. Соответственно этому положению там,

где изменение характеристик объекта соответствует в основном дискретной форме, эффективно применение дискретного подхода. В тех же случаях, где связь объекта со средой предполагается достаточно сложной и неоднозначной, предпочтение отдается второму подходу [Киселев, 1985]. В одном исследовании могут применяться оба подхода.

Исследование структуры ПСПС может быть осуществлено с помощью как дискретного, так и континуального подхода к анализу данных. В табл. 1 приведены конкретные методы анализа при том и другом подходах.

Таблица 1

**Методы анализа данных при континуальном и дискретном подходе**

Задача	Методы анализа	
	Континуальный подход	Дискретный подход
Масштаб связей	Измерение дистанции между переменными	Измерение дистанции на основе оценки сопряженности
Параметры связей	Модели регрессии	Таблицы соответствия (кросс-табуляция)
Определение размерности пространства	Многомерное непараметрическое шкалирование, факторный анализ	Кластер-анализ
Физическая трактовка отношений	Регрессионный анализ базовых факторов от множества исходных переменных (и наоборот); использование независимых представлений	Использование внешних, независимых представлений о возможных механизмах взаимодействия
Изменение состояния системы на территории	Расчет изменения значений базовых переменных в пространстве	Классификация состояния в пространстве измеренных или базовых переменных
Анализ пространственной структуры	Анализ спектра пространственной изменчивости базовых переменных	Дисперсионный и дискриминантный анализ классификации в пространстве базовых и измеренных переменных
Определение нормы состояния, равновесные отношения	Модели линейной и нелинейной регрессии	Статистические параметры для классов
Определение области допустимых отклонений	Отклонения факторов, не выводящие систему за пределы принятых доверительных интервалов	Статистическая оценка экстремальных значений переменных в пределах классов территории
Выделение территорий, находящихся вне области равновесия	Выделение территорий, максимально отклоняющихся по своему состоянию от моделей (более 3 – 4 доверительных интервалов)	То же, что и при непрерывном подходе, но методами дисперсионного и дискриминантного анализа

**Исследование масштабов и характера связей между переменными.** Дальнейшим этапом изучения структуры системы является расчет мер связи между ее частями (переменными). При дискретном подходе используются информационные или другие меры сопряженности, при непрерывном – корреляционный анализ или рассчитываются непараметрические ранговые коэффициенты корреляции.

В географии и геоэкологии, часто имеющими дело с качественными данными, широкое распространение получил информационный анализ [Пузаченко, 1976; Пузаченко, Скулкин, 1981; Арманд, 1975; Дьяконов, 1991; и др.]. С его

помощью может быть установлена связь между качественными и количественными признаками ПСПС и ПТК, исследована их структура.

Информационный метод тесно связан с теорией информации, оценивающей возможности передачи некоторого сообщения в условиях помех и искажений. В этом плане теория информации лежит на границе собственно теории вероятностей и статистики [Пузаченко, 1976]. Работами Ю. Г. Пузаченко с соавторами [см. напр., Пузаченко, Скулкин, 1981] показано, что применение теории информации в географических исследованиях может принести значительную пользу при проведении полевых и камеральных работ по выявлению и анализу связей природных явлений. На основе функций теории информации можно решать следующие вопросы анализа [Абишев, 1975]: 1) выявить взаимоспецифичные состояния факторов и компонентов; 2) определить количество информации, передаваемой от различных показателей или их состояний к компонентам; 3) рассчитать относительные меры связи; 4) выявить косвенные связи и устранить косвенные факторы; 5) объективно оценить относительную значимость каждого показателя и его состояний в пространственном поведении компонентов.

Существен тот факт, что информационные меры связи могут рассчитываться для любых классов переменных (в том числе и для номинальных, а также для переменных, не имеющих линейной упорядоченности). Это обуславливает широкое применение информационного анализа в ландшафтных и геоэкологических исследованиях.

В результате применения информационного анализа строится обобщенная матрица связей, позволяющая выделить основные ведущие факторы с их вкладом в детерминацию состояний различных компонентов и наиболее независимые компоненты с высоким уровнем автохтонного поведения. Анализ структуры связей позволяет дать качественную физическую интерпретацию полученных отношений.

Далее, используя матрицу коэффициентов связи, можно в рамках кластерного анализа выделить системные блоки, образуемые компонентами с наиболее тесными связями. С другой стороны, по той же матрице методом многомерного шкалирования можно определить общую генеральную размерность всей совокупности рассматриваемых компонентов. Соответственно получаем обобщенную схему управления пространственной структурой ландшафта.

Таким образом, информационный анализ является мощным инструментом для анализа структуры ПСПС и ПТК. С его помощью могут быть выявлены наиболее важные факторы, формирующие общую структуру, а также установлены связи между количественными и качественными компонентами ландшафта.

Если переменные непрерывны, то для расчета мер связи могут быть использованы коэффициент корреляции Пирсона (для количественных данных) или ранговые показатели связи (для порядковых). Подробное описание можно найти в специальных работах [Кендэлл, Стюарт, 1973; Холлендер, Вулф, 1983; Sokal, Rohlf, 1981; и др.].

Использование коэффициента корреляции Пирсона для анализа связей в геоэкологических исследованиях ограничено, во-первых, в силу того, что многие переменные не имеют количественного выражения, а во-вторых, расчет этих мер связей допустим только для переменных, имеющих нормальное распределение. В последнем случае дальнейший анализ структуры системы может осуществляться с помощью линейных методов, например факторного анализа [см., Кирюшин и др., 1996, 1998].

В отличие от количественных мер связи ранговые коэффициенты корреляции позволяют строить матрицы отношений для данных, имеющих порядковый характер, при этом сохраняется такое понятие, как отрицательная или положительная связь (чего нет при использовании информационных мер связи). Учитывая, что большинство как ландшафтных, так и других геоэкологических переменных может быть преобразовано в порядковые, ранговые показатели связи наряду с информационными являются важным инструментом познания взаимосвязей между переменными.

В дальнейшем, так же как и при использовании информационных показателей, на основе многомерного шкалирования может изучаться структура системы (ее размерность и т. д.).

**Определение размерности системы и физическая трактовка получаемых скрытых переменных. Анализ пространственной структуры системы.** Полученные меры связей между компонентами системы составляют основу для дальнейшего анализа организации ПСПС или ПТК. Наличие большого числа переменных требует снижения размерности пространства (установления основных базовых факторов, описывающих самые существенные особенности структуры). Размерность системы трактуется как число независимых, возможно, абстрактных переменных, необходимых для исчерпывающего отображения всех состояний рассматриваемого явления [Пузаченко, 1995]. Для реально существующего объекта, представленного измеренными переменными, необходимо найти "условное" пространство с числом абстрактных переменных, существенно более низким, чем число измеренных. Чем выше размерность, тем больше потенциальная сложность изучаемого явления. Определение размерности пространства основывается на применении кластерного анализа при дискретном подходе или многомерного шкалирования и факторного анализа (в последнем случае при линейных отношениях и нормально распределенных данных) – при непрерывном.

*Основы классификации (кластер-анализ).* Общей задачей классификации является упорядочение элементов относительно друг друга по их взаимоотношениям в выборке. В основе любой классификации лежит предположение, что некоторые свойства, описывающие явления, изменяются по всей выборке подобным образом. Соответственно можно выделить группы (классы), каждая из которых будет включать в себя наиболее подобные друг другу свойства. Можно полагать, что однозначность изменения нескольких свойств есть результат их одинаковой реакции на действие внутренних или внешних факторов, определяющих их пространственно-временную изменчивость. Следовательно, на

основе классификации можно приближенно определить число таких действующих факторов [Айвазян и др., 1989].

Кластерный анализ основан на попарной оценке сходства – различия варьирования свойств по всей выборке. Меры сходства (различия) отражают отношения между объектами в рамках определенного набора признаков, выборки объектов и конкретной задачи. В геометрическом смысле различие объектов выражается расстоянием между точками в пространстве признаков. При классификации объектов необходимо также ввести понятие подобия, которое обычно определяется как наличие общих свойств или сходство по сути или по неотъемлемым признакам. В соответствии с этим определением два объекта рассматриваются как подобные, если они одинаковы или по крайней мере сопоставимы по некоторым (не обязательно по всем) свойствам. Кроме того, предполагается, что свойства, по которым они сравниваются существенны.

Способ измерения сходства или различия выражается через метрику. Выделяются два вида метрик: к первой группе относятся метрики, в которых оценка сходства или различия основывается на объеме (Евклидова и ее аналоги), во вторую – на подобии (Пирсона и ее аналоги). В первом случае в одну группу попадут переменные с близкими значениями объемов (например, все микроэлементы с наибольшими концентрациями), во втором – с подобным изменением состояний для различных наблюдений (например, элементы, варьирование которых изменяется похожим образом). Оба вида метрик дадут схожие результаты только в том случае, если данные, по которым проводится классификация, измерены в одних и тех же величинах и имеют приблизительно одинаковые числовые значения. Однако если переменные (например, различные характеристики ландшафта) измерены в совершенно разных единицах и имеют различную природу, то классификации, выполненные по этим метрикам, не совпадут. Поэтому при выборе метрики необходимо учитывать форму отношений между переменными. Классификация будет наиболее точно отображать реальность в том случае, если вид метрики наилучшим образом соответствует форме отношений между свойствами.

Столь же принципиальным является и выбор метода выделения классов. Существуют различные приемы, в основе которых лежит использование различных параметров распределений дистанций между классифицируемыми объектами. В одних методах в один класс объединяются объекты, имеющие минимальное отклонение дистанции от некоторого среднего для класса значения (метод ближайшего соседа). В других случаях отклонение рассматривается от модального (типичного), в третьем случае требуется, чтобы внутри класса дисперсия в дистанциях была минимальной относительно дисперсии дистанций во всей выборке и между классами (метод Варда). В зависимости от метода классификация может осуществляться по заданному числу классов или с автоматическим построением иерархического дерева.

Так как в нашем случае мы имеем дело с нелинейными системами со сложными отношениями, то оптимальным является использование в качестве метрики коэффициента корреляции гамма-Кендала или информационных мер связи.

Таким образом, получаемая в результате кластерного анализа иерархическая классификация (признаков или объектов) позволяет выделить группы переменных или наблюдений для каждого из уровней таксономии. В первом случае определяются основные черты вертикальных связей в изучаемом объекте (группы взаимосвязанных переменных) и его размерность, во втором – горизонтальные связи.

Второй подход, направленный на выявление отношений между переменными, опирается на гипотезу непрерывности, то есть на предположение, что свойства имеют характер непрерывного изменения по некоторому градиенту какого-либо фактора или условий среды.

В общем случае может рассматриваться одновременное изменение по нескольким градиентам, что приводит к многофакторному анализу. В случае, если данные нормально распределены и переменные имеют между собой линейные связи, то применяют факторный анализ, иначе используется многомерное шкалирование.

*Многофакторный анализ.* Целями факторного анализа являются уменьшение размерности системы наблюдений и замена большого числа измеренных переменных небольшим числом независимых друг от друга факторов, с достаточной точностью аппроксимирующих значение каждой переменной. Варьирование каждой переменной определяется как строго детерминированными процессами, так и случайными. Можно утверждать, что результаты факторного анализа выделяют детерминированную, неслучайную часть процесса. При исследовании естественной, в частности географической системы с помощью факторного анализа или подобных ему методов мы стремимся отобразить структуру многомерного географического пространства. Раскрывая содержательную физическую природу каждого фактора, мы переходим к построению общей географической модели изучаемого явления.

Факторный анализ основывается на теории линейной алгебры и теории матриц. Соответственно он может быть принят в качестве основы только для моделей пространств с линейными отношениями. Если в системе существенны нелинейные отношения, то факторный анализ дает искаженное отображение реальности. Основными искажениями являются завышение размерности системы и систематическая ошибка в воспроизведении детерминированной части переменных [Хартман, 1972]. Завышение размерности приводит к тому, что содержание осей трудно интерпретировать. Однако если нас не интересует содержательная часть осей и основной интерес исследования связывается с выделением детерминированной составляющей в исследуемом процессе, то применение факторного анализа вполне оправданно. С помощью полученных абстрактных факторов, необязательно имеющих физический смысл, можно отделить детерминированную составляющую процесса от случайной, а также выделить искажения данных, связанных либо с нелинейностью, либо с ошибками в измерениях или локальными аномальными состояниями исследуемого процесса.

Таким образом, несмотря на то, что модели факторного анализа адекватны очень узкому классу систем с линейными отношениями, применение его

оправданно, по крайней мере для систем, в которых можно предполагать умеренные нелинейные отношения.

Теория факторного анализа и его применение подробно рассмотрены в специальных работах [Лоули, Максвелл, 1967; Факторный..., 1989; Хартман, 1972; и др.].

В факторном анализе процесс оценивания можно рассматривать как двухстадийный. Вначале оценивается факторная структура. Под этим понимается необходимое число факторов для объяснения корреляций между переменными и нагрузки факторов в этих переменных. После этого остается проблема оценки значений индивидуальных членов выборки для самих факторов.

При анализе структуры корреляционных матриц чаще всего используются два основных подхода, формально похожих друг на друга, но различных по целям [Лоули, Максвелл, 1972]. Одним из них является метод главных компонент, другим – непосредственно факторный анализ. Метод главных компонент состоит в расчленении корреляционной (ковариационной) матрицы на совокупность ортогональных векторов (компонент) или направлений по числу рассмотренных переменных. Эти векторы соответствуют собственным векторам и собственным значениям корреляционных матриц. Собственные значения выделяются в порядке убывания их величины, векторы попарно ортогональны, и компоненты, полученные по ним, некоррелированы. Для точного воспроизведения корреляции между переменными требуются все компоненты, хотя несколько компонент могут выделить большую часть дисперсии переменных. При использовании данного метода не надо делать никаких предположений о переменных, они не обязаны быть случайными величинами. В противоположность методу главных компонент факторный анализ заранее объясняет матрицу наличием минимального числа гипотетических (латентных) переменных.

Существует несколько различных методов факторного анализа (максимального правдоподобия, центроидный метод и др.). Выбор того или иного метода определяется тем, насколько полученные результаты описывают реальные отношения в системе. Для более дифференцируемой интерпретации факторов применяется их ортогональное преобразование (вращение). Оно подбирается так, чтобы некоторые переменные (имеющие наибольшие нагрузки по выделяемым осям) имели бы столь высокие нагрузки, насколько это возможно, и нулевые или почти нулевые нагрузки на другие оси.

*Многомерное шкалирование* применяется для решения трех основных типов задач:

1. Поиск и интерпретация скрытых, непосредственно не наблюдаемых переменных, объясняющих заданную структуру попарных расстояний (связей, близостей). В рамках данной задачи предусматривается построение вспомогательных шкал (координатных осей), в системе которых затем рассматриваются анализируемые объекты, а также интерпретация этих шкал в качестве вполне определенных характеристик-стимулов, существенных для дифференциации объектов в рассматриваемом смысле. В такой постановке конечные прикладные цели многомерного шкалирования близки к задачам, решаемым с помощью факторного, компонентного и латентно-структурного анализа, а разница состо-

ит лишь в форме задания исходной информации. Так, в отличие от факторного анализа, требующего линейных отношений в системе и нормального распределения данных, при многомерном шкалировании соблюдение названных условий не обязательно. Это существенно увеличивает область применения данного метода для исследования структуры сложных систем, например ПСПС или ПТК [Пузаченко, Санковский, 1992].

2. Верификация геометрической конфигурации системы анализируемых объектов в координатном пространстве латентных (скрытых) переменных. Исходя из теоретических (содержательных) представлений исследователь формулирует гипотезы о размерности пространства латентных переменных и о типе геометрической конфигурации системы точек, представляющих анализируемые объекты в этом пространстве. Результатом применения многомерного шкалирования в данном случае является статистическая проверка (верификация) упомянутых гипотез, их уточнение.

3. Сжатие исходного массива данных с минимальными потерями в их информативности применяется в том случае, если число анализируемых объектов  $n$  велико (сотни или тысячи). В таком случае исходные данные представляются квадратной матрицей попарных близостей большой размерности –  $n * n$ . Решение задачи многомерного шкалирования позволяет перейти от формы исходных данных типа «объект – объект» к более распространенной и удобной для статистической обработки форме исходных данных типа «объект – свойство», одновременно сократив объем массива данных с  $n * n$  до  $n * k$ , где  $k$  – небольшое число латентных переменных, объясняющих дифференциацию объектов.

Сущность этого метода состоит в том, что на основе использования реально измеренных дистанций между переменными определяется их положение в многомерном векторном пространстве таким образом, чтобы минимизировать ошибки между истинными и расчетными значениями [Дэйвисон, 1988; Краскэл, 1986]. Различие между найденными и измеренными дистанциями определяется как сумма квадратов этих различий и называется стрессом.

Чем больше размерность, тем легче подобрать комбинации, при которых измеренные дистанции минимально отличаются от расчетных. При многомерном шкалировании последовательно задают все меньшее число осей и определяют соответствующие конфигурации и стресс. Обычно начинают шкалировать с девяти осей, считая, что такая размерность вполне достаточна для описания даже самых сложных явлений. Для определения оптимальной размерности, то есть потенциально действующих факторов, рассматривают характер изменения стресса при уменьшении размерности. Вполне понятно, что чем меньше размерность, тем в среднем меньше точность отображения взаиморасположения объектов и соответственно больше стресс. Если процесс чисто случайный, то увеличение ошибки происходит как экспоненциальная или мультипликативная функция от числа осей. Если между переменными существуют неслучайные отношения, то стресс при уменьшении размерности сначала растет очень медленно, а затем при размерности, наиболее соответствующей данной системе от-

ношений, делает резкий скачок. Размерность, при которой происходит скачок, соответствует истинной размерности пространства.

Точка пересечения реальной функции стресса с аппроксимирующей ее экспонциальной или мультипликативной зависимостью определяет фрактальную размерность пространства [Николас, Пригожин, 1990], а ближайшее большее целочисленное значение – его целочисленную размерность [Пузаченко и др., 1996]. Чем больше фрактальная размерность отличается от целочисленной, тем в большей степени в пространстве исследуемого объекта выражены разрывы. Для полученной размерности находятся значения координат, определяющих положение каждой исследуемой переменной в многомерном пространстве. Значения этих координат фактически определяют чувствительность каждой переменной к каждой из осей. Это пространство определяется как векторное.

Используя векторное пространство и данные о характерных состояниях переменных в каждой точке наблюдений, можно определить координаты каждой точки в сопряженном векторному евклидовом пространстве [Пузаченко и др., 1996]. Эта операция проводится с помощью решения системы нормальных уравнений Гаусса (транспонирование матрицы).

Физический смысл полученных факторов, или идентификация классов (полученных в кластерном анализе), основывается на применении дисперсионного или дискриминантного анализа при дискретном подходе или регрессионного анализа при непрерывном.

*Дисперсионный анализ.* Применение этого метода основано на анализе вариации результирующих факторов с точки зрения оценки влияния на их изменчивость группировочных признаков [Политова, 1972]. Другими словами, в рамках этого метода мы можем определить, каким образом и в каких масштабах независимо измеренные качественные характеристики (например, типы почв) обуславливают варьирование результирующих признаков (например, базовых факторов, полученных в факторном анализе или многомерном шкалировании).

Очень большое значение этот метод имеет также для оценки совместного влияния нескольких переменных (группировочных признаков) на результирующий фактор. В геоэкологических исследованиях, где часто приходится иметь дело с качественными переменными, применение этого метода позволяет получить ответы на следующие вопросы: оценка достоверности действия на результирующий фактор каждого из причинных факторов (группировочных переменных) в отдельности и их сочетаний; какая доля влияния на него объясняется действием причинных факторов в отдельности и их сочетаний; какова доля влияния неучтенных, случайных факторов; ошибка опыта, показатели его точности. Техника дисперсионного анализа описана в работах [Deutsch, Journal, 1992; Sokal, Rohlf, 1981; Политова, 1972; Зайцев, 1984; и др.]. Основное требование при двухвариантном или более дисперсионном анализе сводится к тому, чтобы группировочные признаки были независимыми друг от друга.

Общая схема дисперсионного анализа при наличии более одного группировочного признака включает в себя следующий ряд последовательных этапов.

1. Определяются межгрупповая, внутригрупповая и остаточная дисперсии и F-критерий (критерий значимости влияния группировочного признака на вариабельность фактора-результата) для каждого из признаков, а также для их совместного влияния.

2. Полученный F-критерий сравнивается с табличным. Если он оказывается выше него, то это свидетельствует о достоверности влияния того или иного группировочного признака (переменной) или их совместного воздействия на результирующий фактор. Если велика доля остаточной дисперсии, то это свидетельствует о большой роли в определении результирующего фактора неучтенных характеристик.

3. Определяются показатели ошибки разности вариантов, средней арифметической, точности опыта и некоторые другие.

4. Если рассматривается влияние на несколько факторов, то рассчитывается критерий Рао, дающий среднее для всей группы исследуемых факторов значение достоверности влияния группировочных признаков.

Критерий Рао представляет собой отношение суммы F-критериев рассматриваемых факторов к показателю Wilks' Lambda, который в свою очередь рассчитывается как отношение суммы межгрупповых дисперсий факторов признаков к сумме общих дисперсий признаков. Данный показатель позволяет оценить достоверность **суммарного** влияния группировочного признака или признаков на вариабельность рассматриваемых факторов.

Физическая трактовка каждого из факторов (полученных осей) при непрерывном подходе может быть дана на основе регрессионного анализа. Для определения смысла каждой координаты они сравниваются с независимо измеренными переменными (либо с переменными, участвующими в модели) с помощью пошаговой регрессии. Обычно эта процедура позволяет вполне удовлетворительно определить смысл каждой координаты и дать ее интерпретацию. Методика регрессионного анализа приводится в многочисленной специальной литературе [Зайцев, 1984; Тюрин, Макаров, 1985; и др.]

С другой стороны, на основе всех базовых переменных можно классифицировать все точки по их подобию и соответственно выделить типологические и индивидуальные территориальные структуры на разных уровнях классификации. Дискретна или непрерывна система в целом, можно проверить в рамках дискриминантного анализа.

*Дискриминантный* анализ является одним из методов многомерного статистического анализа. Его цель – на основе измерения различных признаков объекта классифицировать его, т. е. отнести к одной из нескольких групп некоторым образом [Боровиков, 1998]. Суть его сводится к измерению качества классификации в целом по заданному множеству переменных и отображению классов в новой обобщенной системе координат (дискриминантных функций).

В качестве дискриминантной обычно берется линейная функция:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_mX_m,$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_m$  – значения признаков у данного объекта;  $C_1, C_2, \dots, C_m$  – дискриминантные множители [Глинский, Ионин, 1998].

Качество анализа подтверждают построением так называемой дискриминантной матрицы, показывающей, в какой мере результаты классификации соответствуют фактическому распределению объектов на группы. Если все элементы, отнесенные к одному классу в результате кластерного анализа, однозначно относятся к тому же классу и в дискриминантном анализе, то классификация идеальна. Если в пространстве координат дискриминантного анализа эти классы статистически значимо изолированы друг от друга, т. е. не только не имеют общих, неопределенных точек, но и отстоят друг от друга на большое расстояние, то можно почти наверное утверждать, что изучаемое явление действительно *дискретно*. В противном случае можно утверждать, что на множестве рассматриваемых переменных изучаемое явление *непрерывно*.

Отсюда следует, что классификации с очень небольшими ошибками в отнесении конкретных объектов к тому или иному классу могут быть построены и строятся для реально дискретных объектов. В этом случае классификация переводит непрерывность в дискретное отображение, т. е. фактически выделяет некоторые обобщенные состояния в пространстве и времени, между которыми существуют переходы.

Для каждой точки наблюдения на основе дискриминантного анализа может быть рассчитана также вероятность ее отнесения к каждому из классов, полученных в кластерном анализе, что позволяет использовать их при исследовании проблемы равновесных и неравновесных отношений в системе.

Дискриминантный анализ требует выполнения ряда ограничений к данным. Во-первых, наблюдаемые величины должны иметь нормальное распределение, во-вторых, должны быть однородными дисперсии и ковариации наблюдаемых переменных в различных классах (отличие между классами имеется только в средних). Умеренные отклонения от этих предположений допустимы [Боровиков, 1998].

**Интеграция структурированных систем. Метасистемы.** В отличие от структурированных систем на этом эпистемологическом уровне основной задачей является исследование отношений между выявленными на предыдущем уровне отношениями. Другими словами, на этом уровне в качестве переменных системы рассматриваются базовые факторы изученных ранее систем, которые объединяются в одну общую систему [Клир, 1990].

Общий порядок анализа метасистем и применяемых методов такой же, как и для структурированных систем. Основная сложность их построения заключается в интеграции в одну систему (метасистему) базовых факторов, полученных при исследовании иногда очень разнородных систем. Так, совершенно разными могут быть параметрические множества, на которых такие структурированные системы были построены; используемые данные также могут иметь самую разнообразную природу и т. д.

Возможны несколько подходов к построению таких систем.

1. В качестве основополагающей берется структурированная система, в наименьшей степени обеспеченная наблюдениями, и для этих состояний отбираются значения факторов других систем из наиболее близко расположенных в

пространстве точек. После этого проводится анализ структуры вновь полученной системы.

2. Проводится интерполяция значений факторов для всех структурированных систем с помощью какого-нибудь метода с единой координатной привязкой. В результате получаем искомую соизмеримую матрицу значений факторов. Но здесь возникают эффекты интерполяции, что может повлиять на результаты анализа.

3. Может быть создана единая матрица состояний в том случае, если переменные разных структурированных систем одинаковы (так, во всех геохимических подсистемах рассматриваются одинаковые микроэлементы). Тогда можно переопределить систему данных, объединив все три системы в одну. В таком случае приходится переходить к стандартизированным или нормированным данным. После этого изучается структура объединенной системы данных. По сути дела мы имеем структурированную систему. Данный способ в наименьшей степени ведет к потере данных, но более труден в интерпретации и применим только для объединения систем, состоящих из одних и тех же переменных, определенных на едином параметрическом множестве.

Лучше всего использовать различные способы, и если полученные результаты не будут сильно отличаться, то это будет свидетельствовать об их существенной достоверности.

#### **1.4. Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных систем**

В результате хозяйственной деятельности человечества происходит значительное изменение геохимической обстановки. Огромные массы вещества извлекаются из природной среды. Входящие в них химические элементы перегруппировываются, создаются новые химические вещества. Отдельные химические элементы концентрируются для их дальнейшего использования. Но большая часть химических элементов, вовлеченных в процесс техногенеза, рассеивается в окружающей среде.

Рассеяние химических элементов может выступать как побочный процесс хозяйственной деятельности человека (выбросы и сбросы промышленных предприятий, твердые отходы производства, выбросы транспортных средств и т. д.), а также носить преднамеренный характер (внесение химических удобрений, орошение мелиорированных земель и т. д.). Поэтому важной частью геоэкологического изучения территории являются эколого-геохимические исследования. Научной основой для эколого-геохимической оценки ПСПС является геохимия ландшафтов – наука, изучающая закономерности процессов миграции, рассеяния и концентрации химических элементов в ландшафтах. Теоретические основы науки о ландшафте и геохимии ландшафтов были заложены в фундаментальных исследованиях В. И. Вернадского, А. П. Виноградова, Б. Б. Полынова.

Изучение ландшафтно-геохимических процессов основано на системном анализе различных процессов и явлений. Системный анализ позволяет адекват-

но описать динамику событий, происходящих в изучаемых природных объектах, с учетом их строения и взаимосвязи отдельных компонентов и дает возможность изучать комбинации различных факторов, прогнозировать состояние системы в зависимости от сочетания этих факторов. Изучение процессов функционирования геосистем через дифференциацию и миграцию вещества позволяет выявить основные закономерности пространственного распределения твердой фазы вещества, особенности динамики жидкой, газообразной и живой фаз, разработать методы ландшафтно-геохимического анализа, синтеза, прогноза и оценки ПСПС и применять их для оптимизации природопользования.

Для проведения эколого-геохимических исследований необходима синтетическая картографическая основа, характеризующая природные условия и особенности концентрации, миграции и рассеяния химических элементов. В качестве таковой выступает ландшафтная карта.

При исследовании геохимических процессов важно учитывать соразмерность ландшафтной дифференциации территории, геотехнических систем и изучаемых геоэкологических процессов. Региональные ландшафтно-геохимические процессы достаточно отчетливо проявляются при среднемасштабном ландшафтном картографировании (масштаб 1 : 100 000 – 1 : 500 000), а для изучения «естественных» и «преобразованных» геотехническими системами геокомплексов территорий (крупные промышленные центры, населенные пункты и другие) используются крупномасштабные ландшафтные карты.

Среди ландшафтно-геохимических систем по уровням организации и тесноте связей выделяют элементарные и каскадные системы. Принципы классификации «элементарных ландшафтов» были предложены Б. Б. Польшовым [1952, 1956], а в последующем дополнены М. А. Глазовской [1964, 1988]. Согласно Б. Б. Польшову [1952], элементарный ландшафт представляет определенный тип рельефа, сложенный одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования определенным растительным сообществом. Критерием однородности взаимодействия компонентов ландшафта он предложил считать почву, так как она формируется в результате взаимодействия горных пород, совокупности обитающих в почве и на ее поверхности растительных и животных организмов.

По условиям миграции химических элементов выделяют три основных типа элементарных ландшафтов: элювиальные, супераквальные (надводные) и субаквальные (подводные) [Польшов, 1956]. **Элювиальные** ландшафты занимают плоские водораздельные поверхности, характеризующиеся глубоким залеганием грунтовых вод. Поступление вещества и энергии в данные ландшафты происходит только из атмосферы. В **супераквальных** ландшафтах грунтовые воды залегают на небольшой глубине. Энергия и вещество в эти ландшафты поступают не только из атмосферы, но и в процессе капиллярного поднятия влаги из грунтовых вод, в которые поступают различные вещества, вымытые из коры выветривания и почв водоразделов. В **субаквальных** ландшафтах условия миграции вещества в первую очередь определяется водоемом. Принос вещества и энергии в данных ландшафтах идет с жидким и твердым боковым стоком.

В элювиальных ландшафтах, расположенных на верхних участках склонов, часть вещества выносится не только с радиальной миграцией, но и с латеральными потоками. Такие ландшафты М. А. Глазовская [1964] относит к трансэлювиальным элементарным ландшафтам. На нижних участках склонов, с глубоким залеганием уровня грунтовых вод, помимо выноса материала наблюдается его частичная аккумуляция. Расположенные здесь элементарные ландшафты называются трансэлювиально-аккумулятивными. В сухой котловине или на делювиальном шлейфе поступление вещества часто преобладает над его выносом. Ландшафты, занимающие данные территории, относятся к элювиально-аккумулятивному подтипу. В субаквальных ландшафтах рек вынос вещества часто преобладает над его приносом, следовательно, их можно отнести к трансаккумулятивному роду.

«Парагенетическую ассоциацию сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов и приуроченных к одному типу мезорельефа» А. И. Перельман [1961, с. 26] называет геохимическим ландшафтом. Серию «элементарных ландшафтов, сменяющих друг друга от местного водораздела к местной депрессии рельефа и связанных латеральными миграционными потоками» М. А. Глазовская [1988, с. 20] называет ландшафтно-геохимической катеной или простейшей каскадной ландшафтно-геохимической системой (КЛГС).

Ландшафтно-геохимические катены, ограниченные общим водосбором, образуют ландшафтно-геохимическую арену [Глазовская, 1988]. В зависимости от порядка водосборных бассейнов выделяют ландшафтно-геохимические микро-, мезо-, макро- и мегаарены. Так как в каскадных системах высокого порядка на долю водосборов наиболее низкого порядка (первого и второго) приходится более 75 % площади, то геохимические условия данных простейших каскадных систем и катен будут являться определяющими для установления основных особенностей ландшафтно-геохимической дифференциации территории.

Практической основой для эколого-геохимической оценки ПСПС являются работы по геохимическому картографированию различных природных сред. В ходе исследований изучаются распределение химических элементов и условия их миграции в различных компонентах ландшафта: почвах, почвообразующих породах, поверхностных и грунтовых водах, растительности, донных отложениях и в снежном покрове, а также геохимические связи между ландшафтами. При геохимическом изучении ландшафтов наибольшее внимание уделяется почвам.

Эколого-геохимические исследования тесно опираются на геохимические законы. Наиболее важными из них являются законы Кларка – Вернадского и В. М. Гольдшмидта. Закон Кларка – Вернадского говорит, что все элементы есть везде, и когда исследователь не может выявить наличие того или иного элемента в системе, то речь идет не об их отсутствии, а о степени чувствительности используемого вида анализа. Согласно закону В. М. Гольдшмидта кларки элементов зависят от строения атомного ядра, а их миграция – от наружных электронов, определяющих химические свойства элементов, и от величины кларка.

**Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных комплексов** проводится поэтапно с соблюдением определенной последовательности. На первых этапах необходимо установить тенденции развития конкретных процессов и сделать их качественную оценку, а затем следует переходить к количественной оценке. Завершающей стадией исследований является составление эколого-геохимического прогноза.

Ведущим методом ландшафтно-геохимических исследований является сопряженный анализ, основанный на одновременном изучении химического состава всех компонентов ландшафта и сравнении полученных результатов между собой в пределах как одного элементарного ландшафта, так и смежных с ним. Сопряженный анализ позволяет выявить характерные для элементарных ландшафтов химические элементы и проследить их миграцию как внутри ландшафта (радиальная миграция), так и от одного ландшафта к другому (латеральная миграция).

Обработка аналитических данных, полученных в ходе ландшафтно-геохимических исследований, заключается в изучении вещественного состава ландшафтов и выявлении в них зон накопления и рассеяния химических элементов, образующихся в процессе их миграции. Для решения данных задач в геохимии ландшафтов используется ряд геохимических показателей. И. А. Авессаломова [1987] предлагает разделять их на две группы: 1) геохимические показатели, позволяющие установить распространение химических элементов в ландшафтах в абсолютных величинах (кларки и местные кларки); 2) геохимические коэффициенты, которые позволяют представить распределение в относительных единицах.

Среднее содержание химического элемента в земной коре и ее самостоятельных крупных частях А. Е. Ферсман в 1923 году предложил называть "кларком", в честь американского геохимика У. Ф. Кларка который впервые рассчитал, какой процент от массы земной коры составляет масса данного элемента. Содержание химических элементов в различных ярусах и компонентах ландшафтов, как правило, отличается от кларка литосферы. Сопоставление абсолютных значений содержания химических элементов в двух природных телах или компонентах ландшафта позволяет делать выводы лишь о различии их вещественного состава, т. е. о большем или меньшем количестве того или иного элемента. Оценить, какие элементы интенсивнее накапливаются в изучаемом объекте по сравнению с другим объектом, по их абсолютным значениям достаточно трудно, как как можно получить неправильные выводы, поскольку их кларки различны.

Для количественной характеристики степени отличия той или иной конкретной природной системы или ее части от кларка литосферы В. И. Вернадский [1954] предложил использовать кларк концентрации (КК), представляющий собой отношение весового содержания данного элемента в природном объекте ( $C_i$ ) к его кларку литосферы (К):

$$КК = C_i / К.$$

Кларк концентрации позволяет судить о степени концентрации ( $КК > 1$ ) или рассеяния ( $КК < 1$ ) химического элемента в исследуемом объекте относи-

тельно литосферы. В том случае, когда содержание химического элемента значительно меньше кларка, для получения целых чисел и большей кратности показателя рассчитывается величина, обратная кларку концентрации, – кларк рассеяния (КР). Данный геохимический коэффициент показывает, во сколько раз кларк химического элемента, больше его содержания в изучаемом объекте:

$$КР = К / C_i.$$

Изучением среднего содержания химических элементов в земной коре занимались многие исследователи: Ф. Кларк, Г. Вашингтон, А. П. Виноградов, С. Р. Тейлор, А. А. Беус и другие. При определении кларков концентрации и рассеяния российские ученые наиболее часто используют кларки литосферы, рассчитанные А. П. Виноградовым [1962].

Для оценки распространения химических элементов в различных ярусах и компонентах ландшафтов в процессе обработки аналитических данных нами рассчитывалось их среднее содержание (табл. 2).

Таблица 2

**Среднее содержание химических элементов в земной коре по А. П. Виноградову [Перельман, 1989] и ландшафтах Мордовии**

Химический элемент	Кларк земной коры по А. П. Виноградову, %	Среднее содержание в ландшафтах Мордовии, %		
		Водно-ледниковые равнины	Вторичные моренные равнины	Эрозионно-денудационные равнины
Бериллий	0,00038	0,00008	0,00012	0,000096
Титан	0,4500	<b>0,5026</b>	<b>0,5669</b>	<b>0,6070</b>
Ванадий	0,0090	0,0074	<b>0,0126</b>	<b>0,0106</b>
Хром	0,0083	0,0066	<b>0,0119</b>	<b>0,0117</b>
Марганец	0,1000	0,0558	0,0668	0,0634
Кобальт	0,0018	0,00135	<b>0,0020</b>	0,0017
Никель	0,0058	0,0031	0,0058	0,0051
Медь	0,0047	0,0011	0,0022	0,0017
Цинк	0,0083	[0,0036]	0,0052	0,0048
Галлий	0,0019	0,0010	0,0016	0,0013
Стронций	0,0340	0,0126	0,0177	0,0188
Иттрий	0,0020	0,0012	0,0018	0,0018
Цирконий	0,0170	<b>0,0380</b>	<b>0,0365</b>	<b>0,0512</b>
Молибден	0,00011	<b>0,00038</b>	<b>0,00027</b>	<b>0,00022</b>
Барий	0,0650	0,0319	0,0507	0,0428
Свинец	0,0016	<b>0,0018</b>	<b>0,0033</b>	<b>0,0033</b>

Примечание. Выделены значения, превышающие кларк литосферы.

Результаты спектрального полуколичественного анализа показали, что содержание гафния, тантала, германия, кадмия, индия, лантана, золота, платины, сурьмы, мышьяка, таллия, гадолиния, церия, урана и тория во всех пробах почв, почвообразующих пород, донных отложений и пыли, накопленной снегом, на территории Мордовии ниже предела чувствительности данного метода. На большей части республики концентрация серебра, фосфора, лития и олова в почвообразующих породах, почвах и донных отложениях превышает чувствительность метода менее чем в 50 % проб. Кроме вышеуказанных химических

элементов в водно-ледниковых равнинах содержание ниобия, цинка и скандия обычно не превышает предела чувствительности спектрального анализа. Вольфрам имеет значимые концентрации в отдельных пробах снеговой пыли на территории г. Саранска.

В пределах выделенных ландшафтов рассчитывалось среднее содержание тяжелых металлов в различных типах почв, которое сравнивалось с результатами других исследователей (табл. 3). Анализ полученных данных показал, что подзолистые почвы ландшафтов водно-ледниковых равнин по сравнению с аналогичными почвами СССР и Московской области характеризуются повышенным содержанием кобальта и молибдена и меньше накапливают меди, бериллия и иттрия. Серые лесные почвы в данном типе ландшафта больше содержат кобальта, титана, молибдена и свинца по сравнению с почвами СССР, Тамбовской области и средней полосы России.

Таблица 3

**Среднее содержание микроэлементов в различных типах почв по данным разных авторов**

Элемент	Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов в различных типах почв							
	подзолистые			серые лесные				
	1	2	3	1	2	4	5	6
Марганец	595,0	715,0	590,0	609,6	1025	405	750	-
Никель	23,5	23,2	20,0	37,3	30,3	18	31	35
Кобальт	12,9	8,4	7,2	15,9	12,4	<5	<5	12
Титан	4853,0	4045,0	6000	5500,0	4400	2400	4400	-
Ванадий	64,3	63,5	64,0	83,5	118	39	59	-
Хром	48,0	180,0	46,0	81,4	250	31	54	-
Молибден	4,0	1,4	1,0	3,7	3,2	-	-	-
Цирконий	350,1	150,0	423,0	444,9	442	460	490	-
Медь	9,1	15,3	27,0	12,5	23,5	<6	<6	18
Свинец	16,3	11,5	25,0	20,8	12,5	-	-	16
Цинк	30,6	41,3	50,0	44,2	60,0	37	44	60
Бериллий	0,7	1,5	1,5	0,9	3,0	<1	1,0	-
Иттрий	10,2	-	18,0	13,9	-	-	-	-
Стронций	117,1	238,0	28,0	136,0	258	55	62	-
Барий	303,6	-	330,0	331,6	-	340	500	-

Примечание: 1 – в почвах ландшафтов водно-ледниковых равнин на территории Республики Мордовия (по нашим данным); 2 – в почвах СССР (Сает и др., 1990); 3 – в почвах Московской обл. (Сает и др., 1990); 4 – в серых лесных почвах Цнинского района Тамбовской обл. (Протасова и др., 1996); 5 – в темно-серых лесных почвах Цнинского района Тамбовской обл. (Протасова и др., 1996); 6 – в почвах средней полосы России (СП 11–102–97).

Закономерности поведения элементов в пределах каждой выборки устанавливались по соответствию закону распределения и статистическим параметрам разнообразия: процент значимых значений (выше предела чувствительности анализа), среднее арифметическое, медиана, мода, частота моды, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и др. [Зайцев, 1984; Пузаченко, 1976; Joreskog et al., 1976]. По совпадению значений среднего арифмети-

ческого, моды и медианы, а также по величине коэффициента вариации оценивалось согласие или несогласие совокупности с нормальным законом распределения. Результаты расчетов значений микроэлементов показали, что для них характерно логнормальное распределение в различных средах [Кирюшин и др., 1996; 1998].

Расчет кларков концентрации химических элементов в объекте исследования позволяет выделить ассоциации элементов, накапливающихся в нем ( $KK > 1$ ) и рассеивающихся ( $KK < 1$ ). Для удобства представления полученных результатов формируется геохимический индекс:

$$\frac{\text{Cr}_{1,0} \text{Ti}_{0,9} \text{V}_{0,9} \text{Zr}_{2,3} \text{Pb}_{1,8}}{\text{Ba}_{0,8} \text{Y}_{0,7} \text{Ga}_{0,6} \text{Co}_{0,5} \text{Sn}_{0,4} \text{Be}_{0,4} \text{Mn}_{0,3} \text{Ni}_{0,3} \text{Sr}_{0,3} \text{Cu}_{0,3} [\text{Mo}_{0,7} \text{Zn}_{0,3}]},$$

где в порядке убывания значения величины кларка концентрации индексом показаны: в числителе – химические элементы, накапливающиеся в данном объекте ( $KK_i > 1,1$ ); перед дробью – химические элементы, содержащиеся в количествах, близких к кларку литосферы ( $KK_i = 0,9 - 1,1$ ); в знаменателе – химические элементы, характеризующиеся рассеянием ( $KK_i < 0,9$ ).

После индекса химического элемента цифрой указывается значение кларка концентрации. Элементы, характеризующиеся одинаковым значением кларка концентрации, указаны через запятую. Химические элементы, превышающие предел чувствительности используемого метода менее чем в 50 % проб, указаны в квадратных скобках.

Оценка тесноты связи между распределением химических элементов в ландшафтах проводилась методом ранговой корреляции. Для этого использовался программный продукт Statistika. Так как для микроэлементов в различных природных комплексах характерно логнормальное распределение, то для приведения его к нормальному виду производилось логарифмирование их значений. Когда увеличение или уменьшение одного показателя сопровождается соответствующим пропорциональным изменением другого, то коэффициент корреляции имеет положительное значение ( $r > 0$ ). Если распределение двух показателей характеризуется противоположным поведением (увеличение одного показателя приводит к пропорциональному уменьшению другого показателя), то между ними существует обратная связь и коэффициент корреляции имеет отрицательное значение ( $r < 0$ ). Чем больше сила корреляционной связи (выше значение коэффициента корреляции рангов химических элементов), тем ближе эта связь к функциональной.

Распределение химических элементов, обладающих широким диапазоном состояния окисления (хром, галлий) или низкой геохимической активностью (иттербий), характеризуется большим количеством корреляционных связей ( $n > 5$ ). Поведение молибдена, цинка, олова, ниобия и марганца в почвах большинства ландшафтов отличается отсутствием тесных ( $r > 0,5$ ) функциональных связей с изучаемыми микроэлементами.

Выявление связей распределения химических элементов проводилось с помощью факторного анализа [Joreskog et al., 1976]. Данный метод позволяет информацию, содержащуюся в большом множестве исходных данных, выра-

зять через небольшое число факторов, с достаточной точностью аппроксимирующих значение каждой переменной. Валовое распределение металлов в почвах различных типов ландшафтов более чем на 50 % объясняется первыми четырьмя (реже пятью) факторами. Вклад каждого фактора в общее распределение металлов превышает 5 %. Интерпретация факторов проводилась по анализу геохимических свойств микроэлементов, обладающих наибольшей чувствительностью к ним. Это позволило установить основные геохимические свойства среды, влияющие на поведение химических элементов в анализируемых типах почв и ландшафтах.

Важным систематическим признаком является средний элементный состав живого вещества в ландшафтах. Кларки концентрации элементов в живом веществе называются биофильностью. Растения избирательно поглощают химические элементы. Живое вещество в основном состоит из элементов, образующих газообразные и растворимые соединения. В качестве показателя, характеризующего интенсивность поглощения живым веществом различных элементов, А. И. Перельман [1961] предложил использовать коэффициент биологического поглощения

$$A_x = I_x / n_x,$$

где  $I_x$  – содержание элемента  $x$  в золе растений;  $n_x$  – валовое содержание элементов в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение.

Так как значительная часть химических элементов в горных породах и почвах находится в нерастворимых формах и недоступна для растений, то данный показатель скорее отражает потенциальную биохимическую подвижность элементов. В качестве показателя, характеризующего степень использования живым веществом подвижных форм элементов, доступных для растений (воднорастворимые, солевые, органоминеральные), Н. С. Касимов [1990] предложил использовать коэффициент биологической подвижности

$$B_x = I_x / n_{хп},$$

где  $n_{хп}$  – содержание подвижных форм элемента  $x$  в почвах.

Большинство химических элементов мигрируют в ионных, молекулярных или коллоидных растворах. Для характеристики водной миграции химических элементов широко используется коэффициент водной миграции [Перельман, 1961], который рассчитывается по формуле

$$K_x = m_x \cdot 100 / a \cdot n_x,$$

где  $m_x$  – содержание элемента  $x$  в водах, г/л;  $n_x$  – в породах, %;  $a$  – сумма минеральных веществ, растворенных в воде, г/л.

Данный коэффициент широко используется для изучения миграции химических элементов в различных частях ландшафта – коре выветривания, почвах, грунтовых водах, а также для характеристики миграции за пределами ландшафта, в глубоких горизонтах подземных вод.

Геохимическая структура ландшафтов описывается радиальным и латеральным поведением изучаемых показателей в различных его компонентах [Дьяконов и др., 1996]. Важнейшим показателем, характеризующим радиальную структуру ландшафтов, является коэффициент радиальной дифференциации ( $R$ ), представляющий собой отношение содержания (валового или подвиж-

ного) химического элемента в том или ином генетическом горизонте почвы к его содержанию в почвообразующей породе [Авессаломова, 1987]. Данный показатель позволяет судить о накоплении или выносе химических элементов в каждом горизонте почвенного профиля по сравнению с почвообразующими породами. В зависимости от величины коэффициента радиальной дифференциации элементы объединяются в группы, характеризующиеся разным уровнем накопления или выноса, что позволяет выделить радиальные геохимические барьеры и в первом приближении судить о вертикальной почвенно-геохимической структуре элементарного ландшафта.

Геохимическими барьерами А. И. Перельман [1961] предложил называть участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, в результате чего они здесь накапливаются. В зависимости от вида миграции выделяют природные и техногенные типы геохимических барьеров, которые в свою очередь разделяются на классы: биогеохимические, физико-химические и механические. Более сложные процессы образования барьеров обычно включают в себя менее сложные.

На радиальную почвенно-геохимическую структуру ландшафтов большое влияние оказывают: строение почвенного профиля; распределение органического вещества, карбонатов, солей; окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия; наличие геохимических барьеров. Для различных типов почв с помощью программного продукта Statistika или других программных средств строятся графики изменения содержания химических элементов в почвенном профиле.

Количественная оценка распределения химических элементов в ряду сопряженных ландшафтов проводится по сравнению значений коэффициента латеральной дифференциации ( $L$ ), представляющего собой отношение содержания (валового или подвижного) химического элемента в подчиненных ландшафтах к его содержанию в автономных ландшафтах [Авессаломова, 1987]. По величине этого коэффициента можно судить о латеральной структуре ландшафтов. Он позволяет сгруппировать химические элементы в группы разного уровня накопления ( $L > 1$ ) и выноса ( $L < 1$ ) из анализируемых подчиненных ландшафтов.

Латеральная структура ландшафта характеризует геохимическое сопряжение в каскадных системах различных уровней (катенах, геохимических аренах и т. д.). Анализ латеральной дифференциации химических элементов в почвообразующих породах и гумусовом горизонте почв позволяет установить влияние литогеохимической структуры на латеральную миграцию. При сопряженном виде изменения химического состава почв и пород латеральная миграция не изменяет литогеохимическую структуру, при конвергентном – сглаживает ее контрастность, а при дивергентном – усиливает и усложняет [Гаврилова, Касимов, 1989].

Анализ содержания химических элементов в почвообразующих породах и гумусовых горизонтах почв показал, что для их латеральной дифференциации на территории Мордовии характерен сопряженный вид изменения. Это свиде-

тельствует о ведущей роли в этом процессе литогеохимических особенностей почвообразующих пород. И только для марганца в ландшафтах эрозионно-денудационных равнин наблюдается ковергентный тип изменения почвенно-геохимической контрастности катены, что связано с его биологическим круговоротом.

При эколого-геохимической оценке качества окружающей среды особое внимание уделяется определению физической величины воздействия на компоненты окружающей среды и оценке значимости такого воздействия. Наиболее простым и часто применяемым методом оценки значимости является сравнение величины воздействия с существующими нормативами качества окружающей среды. Выбор показателей оценки может быть дифференцирован в зависимости от социально-экономического назначения геосистем.

Нормативы качества выражаются в предельно допустимых концентрациях (ПДК) вредных веществ, которые при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияют на здоровье человека или состояние экосистемы. Нормативы устанавливаются и утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов.

Санитарно-гигиенические и экологические нормативы не указывают на источник воздействия и не регулируют его деятельность. Эти требования отражают научно-технические нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) и сбросов (ПДС) вредных веществ, а также технологические, строительные, градостроительные нормы и правила, содержащие требования по охране окружающей природной среды.

Недостатком научно-технических нормативов является то, что при их расчетах не учитываются ландшафтно-геохимические особенности и история геологического развития. Кроме этого воздушная и водная среда являются достаточно динамичными системами, и высокие концентрации загрязняющих веществ сохраняются в них непродолжительное время. Гораздо дольше большинство из них сохраняется в почвах, которые в последующем сами могут стать источниками загрязнения других природных сред. Поэтому особое внимание уделяется возможности использования ПДК для почв. Однако их широкое применение при эколого-геохимической оценке ПСПС часто невозможно по ряду объективных причин, среди которых В. А. Алексеенко [2000] выделяет следующие:

- ПДК стали устанавливаться только в последние десятилетия. Поэтому при их разработке не учитываются поздно сказывающиеся последствия загрязнения, а также некоторые виды загрязнения, на которые раньше не обращалось внимание;

- в них практически не учтены последствия совместного воздействия на человека разных химических элементов, находящихся в самых различных концентрациях;

– при разработке ПДК практически невозможно учесть все формы и виды, в которых находятся элементы. Кроме того, растворимость многих соединений зависит от физико-химических свойств среды;

– природное распределение химических элементов в различных типах горных пород характеризуется крайней неравномерностью, к которой обитающие на них живые организмы в процессе эволюции (иногда продолжающейся многие миллионы лет) «привыкли». Поэтому для такой большой страны, как Россия, установить единые ПДК для почв невозможно. Их использование без учета конкретной ландшафтно-геохимической обстановки может привести к экологическим осложнениям, вплоть до катастроф;

– для нормального развития живых организмов, включая человека, нужны все химические элементы, но только в определенных концентрациях и формах нахождения в различных частях биосферы. Пониженное содержание элементов также вызывает различные болезни живых организмов. Поэтому при определении нормирующих показателей должны устанавливаться максимальная и минимальная их концентрации;

– для большинства техногенных соединений ПДК нет и в ближайшее время их невозможно определить, так как токсичность и время ее проявления для многих из них еще неизвестны;

– ПДК учитывают токсичность элементов или их определенных соединений по отношению к человеку. При этом не берется во внимание их воздействие на другие организмы, а в биосфере все организмы связаны между собой.

Следовательно, при эколого-геохимических исследованиях ПДК могут использоваться лишь как предварительные показатели-ориентиры преимущественно на первых этапах исследований в новых регионах.

В России установлены ПДК загрязнения почвы вредными химическими веществами для пахотного слоя – концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы [Методические указания..., 1987]. ПДК некоторых химических веществ в почве приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в почвах**  
[Методические указания ..., 1987]

Химический элемент	Форма, содержания	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка)	Класс опасности
Медь	Подвижная	3,0	2
Хром	- “ -	6,0	2
Никель	- “ -	4,0	2
Цинк	- “ -	23,0	1
Кобальт	- “ -	5,0	2
Фтор	Водорастворимая	10,0	1
Сурьма	Валовое содержание	4,5	2
Марганец	- “ -	1500,0	3
Ванадий	- “ -	150,0	3
Марганец + ванадий	- “ -	1000,0 + 100,0	3
Свинец	- “ -	30,0	1

Мышьяк	- " -	2,0	1
Ртуть	- " -	2,1	1
Свинец + ртуть	- " -	20,0 + 1,0	1

Для ориентировочной оценки сельскохозяйственных угодий используются ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (табл. 5).

Таблица 5

**Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание, мг/кг)**  
[Ориентировочно допустимые ..., 1995]

Группа почв	Величина ОДК с учетом фона					
	As	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
Песчаные и супесчаные	2	32	0,5	55	33	20
Кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl < 5,5	5	65	1,0	110	66	40
Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl > 5,5	10	130	2,0	220	132	80

В п. 4.27 СП 11–102–97 говорится, что согласно п. 4.2 СНиП 10–01–94 в целях обеспечения взаимопонимания при осуществлении всех видов строительной деятельности и устранения технических барьеров в международном сотрудничестве при необходимости (например, по требованию зарубежных инвесторов) может быть выполнена дополнительная оценка загрязнения и эколого-гигиенической опасности почв в соответствии с действующими зарубежными нормативами (табл. 6, 7).

Таблица 6

**Критерии экологической оценки загрязнения почв металлами в жилых районах**  
[СП 11-102-97]

Вредные вещества	Германия: г. Берлин, земля Брандербург			Голландия	
	Допустимые концентрации вредных веществ в почвах для площадок по категориям, мг / кг сухого вещества			Концентрация вредных веществ в почве, мг / кг сухого вещества	
	Категория			допустимые	требуются вмешательства
	I	II	III		
Мышьяк	10	20	40	29	55
Свинец	100	500	600	85	530
Молибден	-	-	-	10	200
Кадмий	2	10	20	0,8	12
Хром, в целом	150	400	600	100	380
Хром, VI	25	50	100	-	-
Кобальт	100	200	300	20	240
Медь	200	300	600	36	190
Никель	200	250	300	35	210
Ртуть	0,5	1	10	0,3	10
Цинк	500	2000	3000	140	720
Олово	100	300	1000	-	-
Барий	-	-	-	200	625

\* Категории площадок: I – водоохранные зоны, заповедники; II – древние речные долины; III – водоразделы.

Таблица 7

**Ориентировочные показатели наличия вредных веществ в грунтах по отношению к конкретным видам использования территорий**  
[СП 11–102–97]

Вид использования территории	Категория площ.	Содержание элементов, мг / кг									
		As	Be	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Различные функции	I	20	1	1	50	50	0,5	40	100	1	150
Детские площадки	II	20	1	1	50	50	0,5	40	200	5	300
	III	50	5	10	250	250	10	200	1000	20	2000
Домашние огороды и садово-огородные участки	II	40	2	2	100	50	2	30	300	5	300
	III	80	5	5	350	200	20	200	1000	10	600
Спортивные и футбольные площадки	II	35	1	2	150	100	0,5	100	200	5	300
	III	90	2,5	3	350	300	10	250	1000	20	2000
Парки и площадки для проведения досуга, неукрепленные площадки с незначительным растительным покровом	II	40	5	4	150	200	5	100	500	10	1000
	III	80	15	15	600	600	15	250	2000	50	3000
Площади промышленного, промышленного и складского пользования, не покрытые водоупорным слоем	II	50	5	10	200	300	10	200	1000	15	1000
	III	150	20	20	800	1000	20	500	2000	70	3000
Покрытые водоупорным слоем и растительным покровом площади промышленного, промышленного и складского пользования	II	50	10	10	200	500	10	200	1000	15	1000
	III	200	20	20	300	2000	50	500	2000	70	3000
Сельскохозяйственные угодья, площади, используемые под выращивание овощей и фруктов	II	40	1	2	200	50	10	100	500	5	300
	III	50	20	5	500	200	50	200	1000	10	600
Экологические системы неаграрного назначения	II	40	10	5	200	50	10	100	1000	5	300
	III	60	20	10	500	200	50	200	2000	10	600

Важной частью исследований является оценка антропогенного геохимического воздействия на природную среду. Одним из основных показателей интенсивности техногенного воздействия служит коэффициент концентрации химического элемента ( $K_c$ ), который определяется отношением реального (аномального) его содержания ( $C_i$ ) в конкретном природном объекте к среднему фоновому (глобальному или региональному) уровню ( $C_\phi$ ):

$$K_c = C_i / C_\phi.$$

За фоновое значение принимается среднее содержание химического элемента на фоновом участке, который расположен в автономном ландшафте изучаемой ландшафтно-геохимической системы и испытывает минимальное техногенное воздействие. Данный показатель широко используется при эколого-геохимических исследованиях антропогенных ландшафтов [Перельман, Каси-

мов, 1999; Саэт и др., 1990; Экогеохимия..., 1995] и регламентируется в различной методической литературе [Методические рекомендации..., 1987; Методические указания..., 1987; Методические рекомендации..., 1990 и др.].

Для полиэлементного анализа техногенных аномалий рассчитывают суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  [Саэт и др., 1990], представляющий собой сумму превышений коэффициентов концентраций химических элементов, накапливающихся в них:  $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$ .

Аномальным содержанием характеризуются химические элементы, для которых  $K_c > 1,5$  (2,0). При величинах коэффициента концентрации  $K_c = 1,0 \dots 1,5(2,0)$  превышение его фонового значения считается естественной вариацией распределения данного химического элемента.

Оценка загрязнения атмосферы химическими элементами в зимний период проводится на основе изучения пыли, накопленной снегом. При анализе твердых атмосферных выпадений помимо коэффициентов концентрации металлов  $K_c^c$  и суммарного показателя загрязнения снежного покрова ( $Z_c^c$ ), рассчитывается суммарное выпадение твердых веществ – пылевая нагрузка ( $P_n$ ) по формуле:

$$P_n = P / (S \cdot t),$$

где  $P$  – вес твердого вещества, содержащегося в снеговой пробе, кг;

$S$  – площадь отбора снежной пробы, км<sup>2</sup>;

$t$  – время, прошедшее с момента установления устойчивого снежного покрова, сут.

При эколого-геохимическом анализе изучаемой территории важно знать не только суммарную пылевую нагрузку, но и массу того или иного химического элемента, выпавшего с пылью. Для этого определяется общая нагрузка элемента ( $P_i$ ) по формуле

$$P_i = P_n C_i,$$

где  $P_n$  – суммарная пылевая нагрузка, кг / км<sup>2</sup> в сутки;

$C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента в снеговой пыли, мг / кг.

Аналогично суммарному показателю загрязнения для снеговой пыли рассчитывался коэффициент относительного увеличения общей нагрузки элемента ( $K_{pi}$ ) по формуле:

$$K_{pi} = P_i / P_{\phi i},$$

где  $P_{\phi i}$  – фоновая нагрузка исследуемого элемента, мг / км<sup>2</sup> в сутки.

Фоновая пылевая нагрузка определяется по формуле:

$$P_{\phi i} = C_{\phi i} P_{\phi},$$

где  $C_{\phi i}$  – фоновая концентрация исследуемого элемента в пыли;

$P_{\phi}$  – суммарная фоновая пылевая нагрузка.

Обобщающим показателем, учитывающим как концентрацию химических элементов в выпавшей пыли, так и массу этих выпадений, является суммарный показатель нагрузки  $Z_p$  [Методические рекомендации..., 1990], который рассчитывается по формуле:

$$Z_p = \sum K_{pi} - (n - 1).$$

Все перечисленные показатели рассчитываются как для содержания в отдельной пробе, так и для участка территории (района, функциональной зоны и т. д.) в целом. В последнем случае исследование ведется по геохимическим выборкам, основной целью которого являются выявление химических элементов, накапливающихся или рассеивающихся в изучаемых объектах, и проведение качественного и количественного анализа особенностей их распределения в объектах разного типа.

Ассоциации химических элементов, образующих техногенные ореолы загрязнения депонирующих сред, анализируются по классу опасности входящих в них веществ (табл. 8).

Таблица 8

**Отнесение химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов, отходов, к классам опасности [Методические указания..., 1987]**

Класс опасности	Химическое вещество
I	<b>Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, селен, цинк, фтор</b>
II	<b>Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром, серебро</b>
III	<b>Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций</b>

Примечание. Изученные химические элементы выделены жирным шрифтом

По величинам значений суммарных показателей почв, снежного покрова, пылевой нагрузки и суммарного показателя нагрузки производится оценка уровней загрязнения депонирующих сред (табл. 9).

Таблица 9

**Уровни загрязнения почв и снежного покрова металлами [Методические рекомендации ..., 1990]**

Уровень загрязнения	Суммарный показатель загрязнения почв	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова	Выпадение пыли, кг / км <sup>2</sup> в сутки	Суммарный показатель нагрузки,
Низкий	8 – 16	32 – 64	100 – 250	1000
Средний	16 – 32	64 – 128	250 – 450	1000 – 5000
Высокий	32 – 128	128 – 256	450 – 850	5000 – 10000
Очень высокий	Более 128	Более 256	Более 850	Более 10000

Расчет геохимических показателей производился с использованием как стандартных программных средств (ARC/INFO, Statistika и др.), так и программных продуктов, разработанных сотрудниками МГУ им. Н. П. Огарева в НПЦ экологических исследований (ГИС «Мордовия» – В. А. Моисеенко, «KARTA» – В. В. Каменев и др.). Данные программные средства помимо статистической обработки материалов исследований позволяют строить различные изолинейные и растровые карты, а также графики распределения изучаемых параметров. Электронная ландшафтная карта Республики Мордовия, являющаяся составным блоком ГИС «Мордовия», использовалась авторами для экологи-

геохимической оценки выделенных на ней природных территориальных комплексов и их совокупностей.

Наши исследования показали, что аномальные концентрации тяжелых металлов в природно-социально-производственных системах Республики Мордовия наблюдаются в крупных промышленных центрах и вдоль отдельных участков автодорог (Геоэкология..., 2001). Чаще всего эти аномальные зоны характеризуются низким и средним уровнями загрязнения почв и снежного покрова. На территории Саранска и Рузаевки встречаются участки с высоким уровнем загрязнения различных природных сред. Наиболее часто данные площади характеризуются аномальными концентрациями свинца, цинка и меди, а в снежном покрове еще и вольфрама.

Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных систем и использование значений суммарного показателя загрязнения почв позволяет ориентировочно оценить воздействие очагов загрязнения на здоровье населения (табл. 10).

Таблица 10

**Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю [Методические указания..., 1987]**

Уровень загрязнения	Категория загрязнения	Величина суммарного показателя загрязнения почв	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Низкий	Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Средний	Умеренно опасная	16 – 32	Увеличение общей заболеваемости
Высокий	Опасная	32 – 128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Очень высокий	Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение числа случаев токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

**Эколого-геохимический прогноз.** Важным блоком эколого-геохимической оценки городов являются ландшафтно-геохимические исследования, направленные на анализ процесса техногенеза, трансформации природной среды, радиальной и латеральной структур, изменения направленности и скорости геохимических процессов, а также связанных с ними геохимических барьеров. Большое значение имеют методы ландшафтно-геохимического картографирования городов, разработка геоинформационных систем, компьютерное эколого-

геохимическое картографирование и районирование городов, а также геохимическая классификация городских ландшафтов [Экогеохимия..., 1995; Перельман, Касимов, 1999]. Результатом эколого-геохимических исследований обычно является оценка совместимости или несовместимости природных и техногенных геохимических потоков, степени изменчивости и устойчивости природных систем к техногенезу.

Заключительным этапом исследований является составление эколого-геохимического прогноза. Задача этого этапа заключается в предсказании развития изменения природной среды на основе изучения прошлых и современных природных и природно-антропогенных состояний. Данные исследования базируются на изучении существующих техногенных нагрузок, представлениях об устойчивости природных систем к техногенным нагрузкам и анализе их ответных реакций на эти воздействия. В первом случае применяется сопряженный анализ загрязнения почв и пыли, накопленной снегом, характеризующих разные временные интервалы техногенного воздействия. Он позволяет провести районирование изучаемой территории по динамическим особенностям ее загрязнения [Методические рекомендации..., 1990]. При совпадении очагов загрязнения почв и снежного покрова выделяют зоны устойчивого загрязнения. Участки с аномальным содержанием микроэлементов в почве и низкими концентрациями в снеге характеризуются реликтовым загрязнением. Современное (прогрессирующее) загрязнение фиксируется на территориях с высоким содержанием химических элементов в снеговой пыли и низкими их значениями в почвах. Во втором случае выделяются территориальные системы со сходной ответной реакцией на однотипные антропогенные воздействия. Такой подход отражен в представлениях М. А. Глазовской [1997] о технобиогеомах. По степени воздействия техногенеза на почвы и ландшафты Н. П. Солнцева [1982] выделяет два рода устойчивости: во-первых, их способность к сохранению нормального функционирования во время техногенного воздействия (устойчивость первого рода, зависящая от потенциального запаса буферности исходных природных почв); во-вторых, их способность к восстановлению нормального функционирования после его прекращения (устойчивость второго рода).

Техногенные воздействия на почвы могут как уменьшать биологическую продуктивность и качество создаваемой продукции, так и повышать их. Поэтому важное значение имеет ответная реакция почв на химическое воздействие, которую М. А. Глазовская [1997] называет эколого-геохимической чувствительностью почв, или сенсорностью. Положительная реакция почв на техногенное воздействие свидетельствует об их эколого-геохимической устойчивости, отрицательная – о эколого-геохимической опасности.

Химические элементы, поступающие в почву, могут накапливаться в них или выноситься за пределы почвенной толщи. Аккумуляция и сохранение техногенных веществ связаны с существованием системы геохимических барьеров, в которых на небольшом расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов [Перельман, 1961].

Аккумуляция металлов на геохимических барьерах способствует уменьшению их доступности для биоты. Однако изменение почвенно-геохимической

обстановки, обусловленное как природными, так и антропогенными причинами, может привести к увеличению подвижности ранее накопившихся химических элементов и отрицательно сказаться на функционировании почв. Совокупность процессов, приводящих к мобилизации соединений, ранее накопившихся в твердой фазе, подвижные формы которых токсичны, М. А. Глазовская [1997] называет геохимическими стартерами.

Оценка устойчивости почв проводится на основе анализа: сенсорности почв к воздействию тяжелых металлов, учитывающей кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные свойства; емкости сорбционных и хемосорбционных барьеров верхних (по мощности горизонтов и их емкости поглощения катионов) и нижних (по содержанию аморфных гидроксидов Fe+Al, обменного Na и наличию карбонатов) почвенных горизонтов; их общей емкости; эколого-геохимической опасности (по соотношению сенсорности почв и емкости верхних почвенно-геохимических барьеров); теногенной аккумуляции (по соотношению суммарной емкости почвенно-геохимических барьеров и сенсорности почв). Выделенные при этом группы почв, обладающие сходным уровнем эколого-геохимической опасности и техногенной аккумуляцией, объединяются в педобиомы [Глазовская, 1997].

### **1.5. Социологические подходы к оценке состояния природно-социально-производственных систем**

В работах, посвященных взаимодействию общества и природы, существуют различные подходы к исследованию социальных и экологических проблем. Традиционный, или антропоцентрический, подход акцентирует внимание на обществе, отрицательных последствиях его взаимодействия с природой и мероприятиях, которые надлежит осуществить человечеству для гармонизации своих отношений с окружающей средой. Территориальная дифференциация природы и общества обуславливает пространственные различия в характере и интенсивности протекания социальных и экологических процессов и их взаимодействия. В связи с этим региональный аспект оценки указанных выше процессов в природно-социально-производственных системах занимает особое место.

Оценке степени влияния социальных и экологических факторов на демографическое поведение различных социальных групп посвящены многочисленные специальные исследования. Однако практически не проводились исследования комплексного характера, в которых на первый план выходили бы задачи системного рассмотрения связей в цепи "природные условия – социально-экономические условия – экологические условия – население" (рис.1). Социально-экологический подход к изучению региона ориентирован на системное исследование как антропогенного воздействия на окружающую среду, так и обратного влияния измененной среды на население. Изменение отдельных элементов или всей совокупности в данной системе факторов приводит к изменению качества среды жизнеобитания социума и, как следствие этого, к измене-

нию уровня здоровья. Поэтому важно осуществлять интегрированный подход к оценке региона, который предполагает использование весьма разнородной ин-

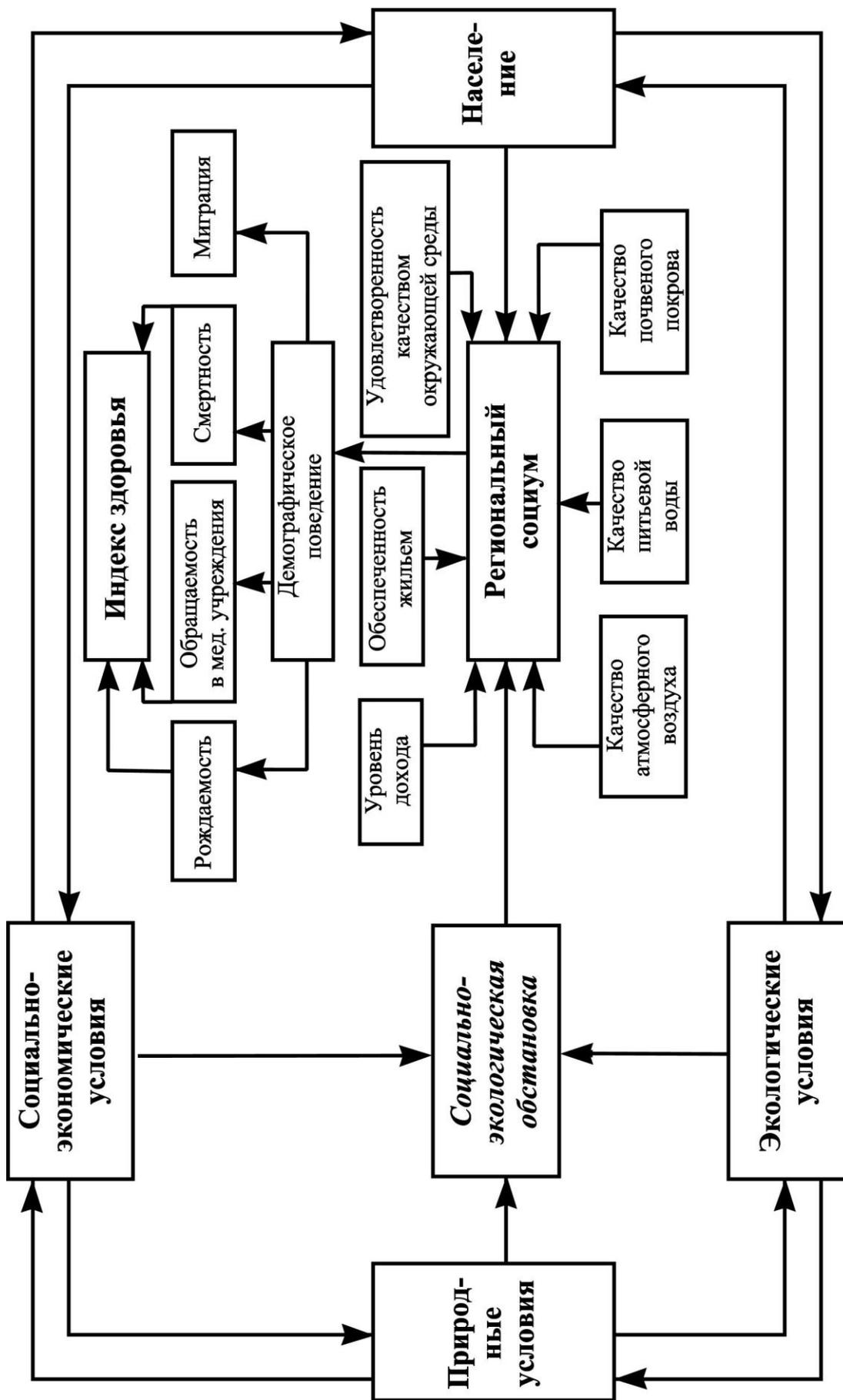


Рис. 1. Социально-экологический подход к исследованию региональных природно-социально-производственных систем

формации: физико-географической, экологической, социально-экономической и т. д.

В решениях комплексной проблемы социально-экологической оценки территории и формирования ее региональных уровней важным моментом является определение структуры баз данных. Она должна интегрировать информацию многих дисциплин. Основными блоками являются условия проживания населения: природные, социально-экономические и экологические, совокупность которых представляет собой систему социально-экономико-экологической оценки региона. Критериями отбора при создании системы показателей должны быть максимальная достоверность и информативность.

Необходимой составляющей социально-экономической информации является изучение народонаселения. Информация, характеризующая население, должна включать показатели об его численности, рождаемости, смертности, средней продолжительности жизни, миграции, состоянии здоровья.

Численность населения региона, ее динамика выступают в качестве ведущих факторов для планирования территории. Изучение демографических процессов необходимо для регулирования оптимального использования природно-ресурсного потенциала территории, определения основных направлений хозяйственного освоения региона.

Важным аспектом в социально-экологических исследованиях является демографическое поведение. Именно демографическое поведение, как считает Б. Б. Прохоров [1995], результаты которого проявляются через демографические процессы, представляет наибольший интерес при проведении региональных антропоэкологических исследований. Демографическое поведение включает действия, связанные с естественным движением населения (рождаемость, продолжительность жизни, смертность), самосохранительным поведением (отношение к своему здоровью выражается через обращаемость в лечебно-профилактические учреждения по поводу различных заболеваний), миграционным поведением (число выбывших, число прибывших, миграционный прирост).

Рождаемость представляет собой процесс деторождения в совокупности людей, составляющих население любой территориальной единицы. Снижение этого показателя приводит к деформации возрастной структуры и старению населения. Данный процесс негативно отражается не только в демографических, социальных, профессиональных и других сферах экономики, но и на состоянии среды обитания, особенно в сельской местности. Например, здесь в настоящее время низкая рождаемость и высокая смертность привели к деградации сети сельских населенных пунктов, особенно отличающихся малой людностью.

Средняя продолжительность жизни является интегральным критерием оценки комфортности геоэкологического состояния среды обитания того или иного региона. Этот показатель отражает общий характер взаимодействия человека с окружающей средой. С одной стороны, технический прогресс позволяет обществу поставить под контроль многие неблагоприятные факторы природной среды, а с другой – антропогенная трансформация вмещающего ланд-

шафта сопровождается ухудшением здоровья населения и как следствие – уменьшением продолжительности жизни. Характерной чертой культурного ландшафта является здоровая, экологически благоприятная среда обитания социума. Не может ландшафт быть культурным, если он непригоден для нормального, безопасного проживания в нем человека. Как бы ни был благоустроен городской ландшафт, но если его воздушный бассейн насыщен выхлопными газами автотранспорта, выбросами промышленных и энергетических предприятий, его невозможно отнести к культурным [Николаев, 1999].

Смертность определяют как массовый процесс, складывающийся из множества единичных смертей, наступающих в разных возрастах. В социально-экологических исследованиях смертность трактуется как частота случаев смерти в данной совокупности людей (населения региона, определенной социальной группы и т. д.). Смертность измеряется числом смертей на 1 тыс. населения за 1 год. Специалистами Всемирной организации здравоохранения разработана оценка роли различных факторов и причин в преждевременной смертности людей. Так, преждевременная смертность от болезней системы кровообращения на 54 % зависит от образа жизни, на 9 % – от факторов окружающей среды, на генетические причины отводится 25 % и на здравоохранение – 12 %. Смертность от новообразований определяется соответственно: образ жизни – 37 %, окружающая среда – 34, наследственность – 29, здравоохранение – 10 %.

Необходимо обратить внимание на темпы роста показателей смертности от несчастных случаев, отравлений и травм. Указанный параметр в структуре смертности сравнялся с потерями от онкологических заболеваний. Нельзя забывать, что смертность от новообразований и болезней системы кровообращения присуща, как правило, населению пожилого возраста, смертность же от травм и отравлений наблюдается в трудоспособном возрасте. Это отчасти объясняет катастрофическое падение продолжительности жизни.

Общепринятым является изучение самосохранительного поведения (отношения к своему здоровью) различных социальных групп общности людей региона с помощью анализа показателей обращаемости за медицинской помощью. Обращаемость – это статистический показатель, характеризующий количество зарегистрированных заболеваний населения или отдельных его социальных групп на 1 тыс., 10 тыс. или 100 тыс. населения определенной территории за 1 год. В задачи социально-экологических исследований не входит изучение всей структуры обращаемости общности людей. Диапазон статистических наблюдений обращаемости отдельных социальных групп в медицинские учреждения по поводу отклонений в организме ограничивается лишь отдельными показателями здоровья населения, в отношении которых влияние условий среды проживания проявляется наиболее четко.

К процессам, характеризующим демографическое поведение и имеющим важное значение для геоэкологических исследований, относится миграция населения. Данный показатель может характеризовать сравниваемые территории в регионе с точки зрения комфортности проживания в них жителей. Миграции оказывают большое влияние на структуру общности людей региона, так как разные ее социальные группы участвуют в них неодинаково. Наиболее ча-

сто переселяются молодые люди в возрасте до 30 лет, одинокие или семейные без детей. В связи с распадом СССР широкое распространение получила так называемая вынужденная миграция, совершаемая под давлением этнической дискриминации. Особенностью миграционных процессов в настоящее время является совершенно новая разновидность миграции – экологическая. Наиболее яркий пример – переселение людей из районов, пострадавших в результате чернобыльской аварии. В то же время пространственная мобильность населения выступает важным фактором антропогенного воздействия на вмещающие ландшафты. Особенно это отражается на урбанизированных территориях, так как города с относительно лучшими условиями жизни обладают большой притягательной силой для населения. Изучение тенденций в формировании миграционных процессов позволит более эффективно регулировать направления основных потоков мигрантов, уменьшить негативное воздействие на природные компоненты региона, оптимизировать использование природно-ресурсного потенциала территории.

В настоящее время формируется представление, что одним из наиболее показательных критериев качества среды в регионе является здоровье населения. Из сферы чисто медицинских исследований изучение здоровья населения шагнуло в экономику, социологию, географию, демографию и в другие науки. Определению понятия «здоровье» в публикациях всегда уделялось большое внимание. В уставе ВОЗ записано: здоровье – это состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не просто наличие или отсутствие заболеваний или недугов [Устав..., 1968].

Понятие «здоровье» не несет в себе количественной меры, позволяющей оценить качество здоровья населения. В связи с этим при социально-экологической оценке территории необходимо использовать понятие «уровень здоровья». Б. Б. Прохоров [1995] толкует уровень здоровья как совокупность осредненных демографических, медико-статистических, антропометрических, генетических, физиологических, иммунологических, нервно-психических признаков отдельных людей, составляющих общность.

В связи с тем что состояние здоровья населения характеризуется большим числом разнообразных параметров, очень сложно однозначно ответить на вопрос, каково его качество. При социально-экологическом подходе к изучению территории уровень качества здоровья различных социальных групп, проживающих в регионе, желательно выразить каким-то одним интегрированным показателем. Вместе с тем в науке отсутствует унифицированный метод измерения уровня здоровья. Существует ряд методик, используемых для классификации и ранжирования территории по комплексному показателю здоровья населения.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (ст. 58 и 59) разработаны «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» [1992]. В разделе I этого документа приведена методика оценки среды обитания по состоянию здоровья населения, в которой используется наиболее распространенный прием изучения состояния здоровья

в сравнении с контрольным районом. Производится сравнение показателей здоровья населения, его демографического поведения в экологически неблагоприятных территориях с аналогичными параметрами на контрольных (фоновых) территориях в этих же климатических зонах. В качестве контрольных (фоновых) территорий принимаются населенные пункты или отдельные их части, на которых фиксируются наиболее благоприятные значения медико-демографических показателей. Предлагаемая методика оценки среды, на наш взгляд, эффективна только при исследовании одного района. При сопоставлении данных уровня здоровья населения, демографического поведения по районам сравниваемые социальные группы должны быть строго однородны по составу (классовая принадлежность, профессиональные особенности и т. д.) и условия их быта не должны существенно различаться.

В Российской государственной автоматизированной информационной системе «Здоровье населения – окружающая среда» оценка здоровья населения основана на использовании понятий «Территориальный показатель здоровья» (ТПЗ), «Частный интегральный показатель» (ЧИП), достоинство которых заключается в том, что все общепринятые статистические показатели, характеризующие здоровье населения, демографические процессы, приведены к единой размерности.

Наиболее интересная методика, на наш взгляд, предложена Ю. П. Доцициным с соавторами [Разработать..., 1991]. Они предлагают измерять отрицательную компоненту, т. е. отсутствие здоровья или его потери. По разработанной программе рассчитывается интегрированный показатель здоровья населения региона с учетом вклада тех или иных показателей. Интегрированный показатель здоровья населения используется для оценки уровня здоровья. Он включает данные о рождаемости, смертности, обращаемости жителей в лечебные учреждения в связи с различными заболеваниями, отражает степень адаптированности различных социальных групп в районе к окружающим их социально-экономической и экологической средам и показывает, насколько эти среды обеспечивают нормальную жизнедеятельность людей, т. е. воспроизводство, труд, отдых и т. д. Для обеспечения простоты, удобства и логического понимания комплексной оценки территории интегрированный показатель преобразуется в «индекс здоровья», являющийся экстенсивной величиной: чем меньше индекс, тем хуже здоровье населения района.

Необходимо учитывать ряд требований к методу интегрированной оценки здоровья:

- она должна обеспечить суммарную количественную характеристику показателей смертности, обращаемости в лечебные учреждения;
- в состав комплексно оцениваемых показателей целесообразно включить только те из них, которые наиболее полно характеризуют здоровье данного коллектива;
- метод должен обеспечить возможность сопоставления показателей со средними данными;

- он должен быть удобен для широкого практического использования и пригоден для автоматизации расчетов с помощью компьютерных технологий [Поляков, Малинский, 1971].

Для обработки статистической информации применяется метод кластер-анализа с использованием принципа сигмальных отклонений от средних уровней. Для кластер-анализа необходима адекватная статистическая информация, отражающая существенные моменты функционирующей системы, на основе которой возможно получение сводного индекса (комплексной оценки).

Жизнедеятельность социума в значительной степени зависит от характера социально-экономических условий. Информационной основой условий проживания населения является «уровень жизни», который рассматривается в качестве экономической категории. Он определяется как количественная оценка степени удовлетворения так называемых непосредственных потребностей социума (жилище, пища, одежда, лекарства, услуги и т. д.). Уровень жизни определяется системой показателей: размеры валовой продукции на душу населения, обеспеченность жильем, работой и уровень ее оплаты, личных доходов и т. д. Социально-экономический кризис как в целом по России, так и в республике во многом способствовал падению жизненного уровня населения. Численность безработных остается на стабильно высоком уровне. Характерной особенностью рынка труда является скрытая безработица, содержание работников в режиме неполного рабочего времени или нахождение их в вынужденных административных отпусках. В связи с этим падает жизненный уровень населения и, как следствие этого, ухудшается его здоровье. Современная ситуация характеризуется относительно низкими реальными доходами основной части населения при возрастании дифференциации их у разных социальных групп.

Не менее важным фактором, необходимым при социально-экологическом изучении региона, являются жилищно-бытовые условия. Наихудшие показатели отмечаются на урбанизированных территориях, где относительно развита промышленность. Это объясняется притоком сельского населения из ближайших «сельскохозяйственных» районов, связанным в основном с трудоустройством и получением образования. Все это приводит к скученности и антисанитарным жилищным условиям. Прямым следствием этого является широкое распространение так называемых жилищных и инфекционных болезней. По мнению А. П. Ильиницкого [1971], жилищные условия в значительной мере определяют широкое распространение туберкулеза, сердечно-сосудистых, психических заболеваний.

На жизнедеятельность населения и непосредственно на здоровье различных социальных групп, их демографическое поведение существенное и постоянно увеличивающееся воздействие оказывают экологические факторы. Проблема построения системы критериев качества окружающей среды сложна и мало изучена. Как известно, в настоящее время наиболее разработанный подход к оценке качества окружающей среды состоит в определении нормативных параметров, стоящих на страже здоровья человека. Традиционным способом оценки среды обитания людей является использование в качестве эталона показателей предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ.

Так, установлены ПДК различных видов загрязнителей для воздуха, воды, почвы. Кроме того, в настоящее время разрабатываются показатели предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферный воздух, предельно допустимых сбросов (ПДС) в водоемы. Поэтому при социально-экологической оценке территории детальная характеристика условий проживания на основе изучения спектра веществ-загрязнителей в каждом компоненте среды (воздухе, почве, воде и т. д.) крайне необходима. Значительным недостатком существующей системы нормативных показателей качества окружающей среды является то, что она, как правило, не учитывает синергичности поступления различных веществ в организм. Таким образом, качество окружающей среды оказалось представленным многими сотнями показателей, описывающих концентрацию различных химических веществ, влияющих на уровень и структуру здоровья социума. Для большей информативности данных об уровнях загрязненности территории Б. А. Ревичем, Ю. Е. Саеом, Р. С. Смирновой [1990] рекомендовано проводить характеристику почв и снежного покрова по геохимическим показателям. Они учитывают распределение как отдельных металлов, участвующих в загрязнении, так и их ассоциаций. К таким показателям относятся суммарный показатель загрязнения почвенного покрова (СПЗПП) и суммарный показатель загрязнения снежного покрова (СПЗСП).

Следующим важным фактором при оценке влияния экологических условий на демографическое поведение общности людей является специфика состава питьевых вод. Например, избыток фтора в питьевой воде (1,5 мг / л и более) способствует распространению заболеваемости флюорозом, болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани, однако при его недостатке (меньше 0,5 мг / л) развивается кариес. Повышенное содержание железа общего (более 0,7 мг/л) в питьевой воде обуславливает заболевания кровеносной системы, развитие цирроза печени.

Качество среды обитания в регионе важно оценивать двумя различными способами: измерением объективных условий жизни и субъективных оценок жизни. Объективные условия жизни определяются как результат комбинации различных статистических показателей, фиксирующих фактическое состояние среды проживания в данной территориальной ячейке, измеренное инструментальным способом и сопоставленное с существующими нормами (например, с ПДК). Субъективная оценка основывается на суждениях людей об обстоятельствах их жизни, которые формируются на основе уровня интеллектуального развития индивида, его жизненного опыта, эмоционального состояния и т. д. Изучение субъективных оценок способствует выявлению факторов и условий, воспринимаемых как неблагоприятные, отклоняющиеся от нормы той или иной категории жителей. При субъективной оценке территории региона городскую и сельскую местность необходимо рассматривать отдельно. Это обусловлено тем, что условия жизни, качество окружающей среды и т. д. в городах и сельских населенных пунктах различны и соответственно степень удовлетворения потребностей различных социальных групп неодинакова. Так, например, в условиях города существенно трансформируется среда жизнеобитания человека – меняется качество необходимых для его жизнедеятельности природных

компонентов (воды, воздуха, почвы и т. д.). Все это вместе с шумом от уличного транспорта, промышленных предприятий и строек создает ту специфическую обстановку, которая оказывает существенное влияние на уровень здоровья населения.

Субъективное восприятие населением среды обитания часто наиболее полно отражает качество окружающей среды. Следует отметить, что в нашей стране подобная информация не учитывается и не используется при вторжении в окружающую среду. Что касается западных стран, то результаты опроса в социуме применяются не только для установления психологической реакции людей на те или иные геоэкологические проблемы, но и для планирования властями действий по хозяйственному освоению ландшафтов.

Информационная база о взаимодействии населения с окружающей средой собирается с применением методов социометрии: анкетирование, интервьюирование и т. д. Основные приемы этих методов заключаются в непосредственном сборе первичной социологической информации, которая основывается на наблюдениях, воспоминаниях, рассуждениях людей. Выбор района исследования должен осуществляться с учетом максимальной природной и социальной репрезентативности. В ландшафтном смысле эта репрезентативность должна включать основные природные комплексы в пределах исследуемого региона.

Человек в процессе хозяйственной деятельности для удовлетворения своих потребностей сознательно изменяет среду обитания, постоянно поддерживает ее в нужном для него состоянии, улучшает качество жизни. Качество жизни является интегральным показателем социально-экономической среды жизни социума. Также важна оценка взаимосвязи жизненного уровня, качества жизни со средой проживания. При этом качество жизни определяется в удовлетворении потребностей населения в здоровой окружающей среде и материальных благах в соответствии с ценностной ориентацией данного социума. С низким уровнем качества жизни общество не сможет создать совершенный и гармоничный культурный ландшафт.

Сегодня вряд ли кто-либо станет оспаривать наличие взаимосвязи между демографическим поведением и условиями социальной и экологической среды. Однако до сих пор количественные статистические зависимости являются предметом изучения и анализа специалистов. К настоящему времени накоплено огромное количество работ, посвященных изучению зависимости медико-демографических показателей от факторов окружающей среды. Однако значение математико-статистической обработки информации при социально-экологической оценке территории региона нельзя преувеличивать. Как считают А. Г. Федоров, П. Д. Сподобец [1976], в основе ее должна лежать профессиональная логика. При этом математико-статистическим интерпретациям отводится лишь роль моделей, отражающих с определенной степенью достоверности поведение объекта исследования. Построенные математико-статистические модели представляют только схемы связей. Они не отражают все многообразие социально-экологических явлений, особенности которых можно оценить только с позиции профессиональной логики.

Проведенный анализ социально-экономической информации, необходимой для геоэкологической оценки территории, показал, что она включает разноплановую тематику. В настоящее время нет устойчивой системы показателей социальной статистики, которая позволила бы охватить весь комплекс природных, социальных и экономических процессов, происходящих на территории региона. Для исследования взаимодействия социума со средой обитания необходимо, на наш взгляд, синтетическое рассмотрение приведенных выше показателей. В контексте такого геоэкологического подхода важной задачей является разработка интегрального показателя сочетания социально-экономических и экологических аспектов с использованием как объективных, так и субъективных данных.

Проводимые в настоящее время социально-экологические исследования в большей степени носят оценочный, фиксационный характер. Оценка степени социально-экологической напряженности позволяет провести сравнительный анализ уровня и структуры демографического поведения по административным районам. Районы со сходными параметрами социально-экологической ситуации могут быть объединены и определенным образом сгруппированы. Целесообразно выделить в них районные центры, города и рабочие поселки, где обычно концентрируется значительное число населения региона. Такой подход в определенной степени оправдан, поскольку основная часть статистической информации представляется по административным единицам. Однако исследование территориальных различий внутри региона по административным районам может существенно исказить картину социально-экологической напряженности в результате несовпадения ареалов распространения техногенного воздействия и административных границ.

В связи с этим целесообразны выделение реальных ареалов воздействия и использование этих территорий и их сочетаний для комплексной оценки социально-экологической напряженности. Для решения многих актуальных научных и прикладных проблем оценки условий проживания важным является районирование. Так, например, представители Чикагской школы Э. Берджесс и др. провели районирование городской территории. В работе «Теория концентрических зон» они утверждают, что городская структура в индустриализованных обществах принимает форму пяти концентрических колец. Центральная зона представляет собой район, в котором расположена основная часть респектабельных магазинов, офисов, банков и др. Вторая зона, зона перехода, является зоной развития, находящийся под воздействием расширения центрального делового района, в результате чего она оказывается заполненной дешевым жильем. Третью зону составляют районы с домами, где проживают рабочие, занятые физическим трудом, четвертую – пригороды, заселенные средним классом, и пятую – окраины города, где проживают те, кто регулярно совершает поездки на работу в центральные районы города [Социологический словарь, 1997. С. 139].

В настоящее время выделяются несколько вариантов районирования:

1) аналитический, или компонентный, при котором территория делится по какому-нибудь одному признаку (например, интенсивности загрязнения воздуха диоксидом серы);

2) комплексный, когда территория рассматривается по нескольким показателям (например, уровню заболеваемости и смертности населения от болезней органов дыхания, связанных с загрязнением атмосферы, или интенсивности загрязнения воздуха широким набором поллютантов);

3) синтетический, или интегральный, позволяющий делить территорию на основе оценки совокупности показателей (например, уровню техногенного загрязнения и состоянию здоровья населения).

Самый сложный вид районирования – создание интегральных, многофакторных схем деления территории. Принципы и методы интегральной типологии территории региона в настоящее время находятся на стадии разработки. В основном это связано с трудностью в интерпретации показателей и отсутствием необходимых данных.

## **2. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

---

Важнейшим инструментом геоэкологического анализа ПСПС и планирования культурных ландшафтов Мордовии является региональная геоинформационная система «Мордовия». Кроме базовой ГИС нами разработаны гипертекстовый электронный атлас ПСПС, учебный краеведческий комплекс «Многоликая Мордовия» [Культурный ландшафт..., 2003]. В настоящее время на кафедре геоэкологии и ландшафтного планирования и кафедре геодезии, картографии и геоинформатики Мордовского университета идет процесс интеграции работ по созданию региональной ГИС.

### **2.1. Региональные геоинформационные системы**

**Основные требования к геоинформационным системам.** Геоэкологическая оценка состояния ПСПС предполагает сбор, систематизацию и анализ широкого спектра показателей. Подобные задачи на современном этапе могут эффективно решаться с использованием региональных геоинформационных систем. Перспективность этого направления состоит в том, что они позволяют быстро и точно совмещать различные срезы пространственно-временной информации, рассматривать геоэкологические объекты в их географическом окружении, исследовать взаимосвязи и взаимозависимости между ними. ГИС-технологии способствуют выработке качественно новой информации о природных процессах и явлениях [Берлянт, 1995, 1999; Тикунов, 1997]. Они создают возможности для интеграции данных, получаемых из различных источников, что делает их часто незаменимым инструментом для комплексной оценки геоэкологических проблем и принятия управленческих решений в области оптимизации функционирования ПСПС.

Методы ГИС-анализа в первую очередь зависят от решаемой задачи и формата используемых данных. В соответствии с этим разработано большое число разнообразных стандартных алгоритмов ГИС-анализа, реализованных в пакетах программ различных производителей. Но, несмотря на это, на практике возникает необходимость решать специальные тематические задачи, для которых приходится разрабатывать новые методы и алгоритмы и реализовать их в специальных проблемно-ориентированных ГИС.

Можно сформулировать следующие основные требования, предъявляемые в настоящее время к ГИС:

- наличие целого комплекса машинного оборудования и программ, необходимых для всестороннего обеспечения научных исследований;
- структура ГИС должна быть представлена набором модулей, ответственных за выполнение конкретных операций, которые могут быть легко

трансформированы или модернизированы по желанию пользователя («модульность» и «открытость» системы);

- обеспеченность ГИС комплексом математических, математико-картографических или других моделей для обеспечения построения и интерпретации картины географической реальности;
- возможность поддержки работы с пространственно координированными базами данных;
- способность ГИС работать в локальных и/или глобальных сетях, регулировать доступ к информации различных пользователей и обеспечивать рациональную организацию их работы.

Вышеперечисленные условия относятся к разряду общепостановочных, вместе с тем каждый пользователь по мере проведения исследований предъявляет свои требования к работе ГИС, зависящие от частной задачи, необходимого уровня автоматизации, квалификации исполнителя и т. д.

**Использование карт и материалов дистанционного зондирования для создания баз пространственно распределенных данных.** В комплексных геоэкологических исследованиях ПСПС важную роль играют географические карты. Их целенаправленное использование в сочетании с данными дистанционного зондирования и другими видами информационного обеспечения служит надежным источником для построения различного рода географических моделей, ориентирующих ГИС на оперативное решение определенного комплекса задач при территориальном природопользовании. Решение проблемы картографического обеспечения ГИС заключается в разработке принципов отбора, анализа и использования картографической информации и данных дистанционного зондирования как основы тематического фонда базы данных. В связи с этим при разработке проблемно-ориентированных ГИС возникает задача создания базового картографического обеспечения. Под базовым картографическим обеспечением проблемно-ориентированной геоинформационной системы понимается определенный комплекс взаимосогласованных базовых карт и геоизображений, подлежащих обязательному и долговременному хранению в пространственной БД и используемых как источники исходной фактической информации об объектах территориального природопользования. Процесс разработки базового картографического обеспечения включает следующие основные этапы:

- анализ существующих топографических и тематических карт данной территории и оценка целесообразности вовлечения их в работу системы;
- создание специализированной картографической базовой основы, имеющей многоцелевое назначение в обеспечении работы ГИС;
- составление серии специализированных тематических базовых карт, описывающих природно-ресурсную основу территории по каждому из блоков ее географической модели;
- определение последовательности и частоты обращения к тем или иным элементам базовых карт в соответствии со спецификой и тематикой задач системы;

- разработка технологии ввода и способов размещения, хранения, обработки и использования базовой картографической информации ГИС;
- построение серий цифровых базовых картографических моделей;
- определение состава элементов базового картографического обеспечения в выходной картографической продукции ГИС.

Исходная ступень картографического обеспечения ГИС – разработка базовой картографической основы территории. В нее целесообразно включать типовые для всех групп тематических карт общегеографические объекты и дополнять их специальными элементами, подчеркивающими характерные особенности природно-социально-производственной организации конкретной территории. Наличие таких общегеографических элементов местности, как гидросеть, населенные пункты, дороги и т. д., позволяет выбрать необходимые опорные объекты, обеспечивающие в сочетании с координатной сеткой геометрическую коррекцию и географическую интерпретацию данных дистанционного зондирования.

Очевидно, что все многообразие характеристик природно-социально-производственных объектов, составляющих базовое содержание проблемно-ориентированной ГИС, затрудняет их полное отображение на одном слое пространственной БД. В связи с этим целесообразно расчленение этого комплекса на серии специализированных базовых картографических слоев: рельеф и гидросеть; контуры природных и хозяйственных объектов; границы административно-территориальных единиц и землепользований. Эти элементы на базовых картографических основах могут даваться по отдельности или в определенных комбинациях, дополняться другими природными и социально-экономическими характеристиками. Таким образом, формируется блок специализированных базовых картографических слоев, ориентированных на определенные группы тематических карт. Такой подход к созданию базовых картографических слоев позволяет оптимизировать разработку различных тематических карт, облегчает их пространственное и тематическое согласование, обеспечивает эти процессы высокой степенью автоматизации.

Автоматизированное создание карт на базе использования цифровых картографических основ предъявляет особые требования к современности их содержания. Главными источниками обновления базовых картографических основ служат различные дежурные картографические материалы, регулярно обновляемые планы землепользований, материалы государственной статистики.

Ценным источником территориальной информации служат данные дистанционного зондирования (ДДЗ). Аэрокосмические методы обеспечивают комплексный подход к изучению территорий. Современные дистанционные методы основаны на регистрации электромагнитного излучения, генерируемого географической оболочкой. Как известно, природные объекты по-разному отражают или излучают лучистую энергию. Это обстоятельство, а также периодичность, оперативность и уровень современных компьютерных методов обработки данных дистанционного зондирования определили эффективность исследования и количественной их интерпретации. Современные тенденции использования ДДЗ, математического моделирования и картографических методов

выполняют связующую функцию между дистанционной, картографической и цифровой моделями природной среды. Вышесказанное определяет важность представления дистанционной информации в базовых слоях проблемно-ориентированной ГИС. Совокупность элементов базовой картографической и информационной основ образует каркас, который обеспечивает в дальнейшем привязку и обработку всей тематической информации, функционирующей в ГИС.

В целом все общегеографические и тематические карты и ДДЗ образуют единый информационный комплекс, способный обеспечивать решение задач, для которых предназначена проблемно-ориентированная ГИС.

**Базовые операции региональной геоинформационной системы.** Анализ данных, являясь одним из трех крупных модулей ГИС (ввод, обработка и вывод), составляет ядро геоинформационных технологий. Содержание аналитического блока (модуля) современных программных средств может служить индикатором его качества. Операции аналитического характера можно разделить на следующие группы:

- операции переструктуризации данных;
- трансформация проекций и изменение систем координат;
- операции вычислительной геометрии;
- оверлейные операции;
- общие аналитические и моделирующие функции.

**Операции переструктуризации данных.** Пространственные данные, введенные в среду ГИС, нередко нуждаются в некоторых предварительных операциях, позволяющих адаптировать их к дальнейшей обработке. Наиболее важными операциями этой группы являются операции преобразования данных из векторного в растровый формат и обратно.

**Трансформация проекций и изменение систем координат.** В этот блок входят операции пересчета координат пространственных объектов (вращение, сдвиги, масштабирование и др.), более сложные трансформации, например «укладка» объектов в систему опорных точек с точно известными координатами с применением линейных, аффинных преобразований, и, наконец, трансформация картографических проекций – наиболее сложная операция. Трудности при этом возникают при попытке объединить данные из различных картографических источников с разнородной математической основой.

**Операции вычислительной геометрии.** Программные средства ГИС представляют пользователю возможности выполнения некоторых картометрических операций: расчет площадей, длин линий, координат центров полигонов и др. К примеру, в ARC/INFO площадь и периметр входят в число обязательных атрибутов полигонов. Методика таких расчетов достаточно проста для случая растровых данных. Для векторных представлений используются алгоритмы, основанные на формулах аналитической геометрии. К классическим задачам вычислительной геометрии, реализуемым в большинстве растровых и векторных ГИС, принадлежат такие операции: определение принадлежности точки внутренней области полигона, описание геометрических и топологиче-

ских отношений точечных, линейных и полигональных объектов двух разноименных слоев при их наложении (оверлее).

**Оверлейные операции.** Суть этого мощного средства анализа множества разноименных и разнотипных объектов состоит в наложении двух разноименных слоев (или множества слоев) с генерализацией производственных объектов, возникающих при их геометрическом наложении, и наследованием их семантики.

**Общие аналитические и моделирующие функции.** В отличие от цифровых представлений точечных, линейных и полигональных объектов трехмерные объекты – поверхности, к наиболее распространенному типу которых принадлежит физический (топографический) рельеф земной поверхности, требуют особых форм представления, поскольку их пространственное положение должно описываться не только плановыми, но и высотными координатами. В связи с этим важны аналитические функции ГИС, позволяющие создавать цифровые модели рельефа (ЦМР). Крупной группой приложений ЦМР является получение производных морфометрических характеристик рельефа. К ним принадлежит анализ структурных линий рельефа в морфометрических целях. К наиболее широко используемым операциям морфометрического анализа ЦМР относятся расчеты крутизны и экспозиции склонов.

Функциональные особенности программных средств (ПС) ГИС определяют ориентации их на систему сбора, ввода в машинную среду, обработки, анализа и представления пространственно-координатных данных. Структурно ПС ГИС включают группы операций, оформленных в виде взаимосвязанных друг с другом модулей. Набор ПС в ГИС различен, но можно выделить основные технологические операции:

- ввод данных в машинную среду, т. е. драйверы устройств цифрования (дигитайзеры с ручным обводом, сканеры). ПС для ввода видеоизображений и данных стереообработки включают средства визуализации, редактирования, систем обработки изображений, систем автоматизированного проектирования (САПР), систем управления базами данных (СУБД) и электронных таблиц;
- преобразование систем координат и трансформация картографической проекции;
- хранение и манипулирование метрическими и неметрическими (тематическими и семантическими) атрибутами в базах данных с помощью средств систем СУБД;
- растрово-векторные операции, включающие векторно-растровое преобразование и графическое совмещение растровых и векторных изображений;
- измерительные операции (длины линий, площади объектов, периметры и др.);
- топологические операции, в том числе наложение полигонов (топологический оверлей), определение принадлежности точки и линии к полигону, слияние полигонов, удаление паразитных (сорных) полигонов;

- аналитические и моделирующие операции, включая селекцию объектов по семантике, выбор оптимального маршрута, обработку данных геодезических съемок;
- анализ поверхностей (создание и обработка ЦМР), включая вычисления углов наклона и экспозиций склонов, интерполяцию высот, определение зон видимости/невидимости, генерацию горизонталей, трехмерных изображений и др.;
- вывод данных и документирование результатов с использованием различных устройств, включая дисплеи, принтеры, графопостроители, устройства вывода на микрофильм;
- картографическая графика цветного и монохромного воспроизведения карт с возможностями изменения палитры цветов, штриховок и реализации способов картографического изображения (внемасштабные значки, картограммы, картодиаграммы, ареалы и др.), создание произвольных графических знаков, построение элементов вспомогательного оснащения, размещение и редактирование легенды карты, аннотирование карты различными текстовыми и графическими элементами;
- цифровая обработка дистанционных изображений различного типа (фотографические, сканерные, радиолокационные и др.). Операции предварительной обработки (фильтрации, сводки листов, ротации и др.), возможности геометрической коррекции (привязка и географическая основа), автоматической генерализации, тематической классификации изображений, сохранение результатов обработки в банке данных ГИС.

**Специфика и архитектура региональной геоинформационной системы для геоэкологического исследования природно-социально-производственных систем.** Во всяком программном комплексе, в том числе и ГИС, существует триада: модель, алгоритм, программа. Основой любого программного комплекса являются модели в виде математических описаний, затем идут следующие из них алгоритмы и, наконец, основанные на алгоритмах компьютерные программы. Формализация знаний о природно-социально-производственных системах во многом зависит от полноты собранной информации, которая является основой базы данных проблемно-ориентированной ГИС. Но уже само создание базы данных исходной геоэкологической информации осуществляется не произвольно, а исходя из условий логической и физической структуризации.

Проблемно-ориентированные ГИС, предназначенные для геоэкологического исследования и оценки состояния ПСПС, имеют в своем составе многомерную пространственно распределенную базу данных, основу которой составляют карты и фотоизображения с различной метрикой. Это значительно усложняет структуризацию информации и методов ее обработки. При этом выделяются четыре основные проблемы: 1) автоматизация информационного обеспечения, в рамках которого центральное место занимают пространственные базы данных; 2) создание системы логико-математической обработки пространственно распределенной информации, при которой особое место отводится математико-картографическому моделированию; 3) автоматизация создания ма-

тематико-картографических моделей объектов природопользования, природных процессов и явлений; 4) автоматизация анализа математико-картографических моделей для поддержки принятия решений при территориальном природопользовании.

Если первая проблема направлена на создание пространственной базы данных, то последующие функционально от нее зависят. Организацию пространственной базы данных как предпосылку автоматизации исследовательских работ закономерно рассматривать в качестве одной из стадий поддержки принятия решений, состоящей из сбора, систематизации и предварительной обработки пространственной информации для приведения ее в единую систему. Но пространственная база данных не только обеспечивает автоматизированное создание картографических моделей, она используется на всех стадиях пространственного анализа. Например, математико-картографическое моделирование можно вести на стадии как создания, так и использования картографических моделей. Многие картометрические характеристики, которые обычно получают в результате обработки карт, с использованием пространственной базы данных непосредственно могут вычисляться по цифровым данным.

Пространственная база данных – это относительно новое понятие в области хранения и обработки географической информации, получающее все более широкое распространение. Под пространственной базой данных понимается однозначная структурированная совокупность данных, максимально близко отображающая состояние географических объектов, их свойств, связей и отношений. Пространственная база данных, по сути дела, является цифровой информационной моделью объекта, хранящейся в памяти компьютерной системы. Различают логическую и физическую структуру данных. Логическая структура образуется отношениями, существующими в совокупности данных и между ними. Физическая структура соответствует отношениям, существующим в организации записи данных на запоминающих устройствах компьютерных систем. Физическое описание данных создается и используется для системы управления базой данных проблемно-ориентированной ГИС. Исследователей интересует главным образом информация об объектах природопользования, какими способами эта информация формально описана, какие пространственно-временные связи между географическими явлениями учтены.

Ядро любой базы данных – ее модель. Она играет принципиальную роль при разработке конкретных проблемно-ориентированных ГИС. Различают три основных подхода к выбору модели данных: иерархический, сетевой и реляционный. Любое представление данных может быть сведено к двумерным таблицам свойств и отношений (реляционная модель). Для описания таких таблиц существуют точные математические обозначения. Кроме того, реляционный подход не противоречит двум другим и пригоден для описания любой структуры данных. С практической точки зрения предпочтение реляционной модели заключается в следующем: 1) она легко реализуется в программных комплексах благодаря тому, что данные представляются в матричной (табличной) форме; 2) подавляющее большинство данных для тематической картографии представляется в виде двумерных таблиц, сопряженных с картографической основой.

Таким образом, центральная проблема создания проблемно-ориентированных ГИС – это организация конкретных пространственных баз данных. Проблемно-ориентированные ГИС – это комплекс особым образом организованных пространственных баз данных в компьютерных системах, оснащенных специальной системой управления (интерфейсом) и комплексом прикладных программ (функциональных модулей) для решения целевых задач.

В результате проведенных исследований предложена следующая архитектура проблемно-ориентированной ГИС для оценки состояния природно-социально-производственных систем (рис. 2).



Рис. 2. Схема проблемно-ориентированной ГИС

Блок-схема организации пространственной базы и аналитических функций (рис. 3, 4) позволяет обеспечить исследовательские процессы высокой степенью автоматизации, а полученные оценки и выводы делает более достоверными, что в свою очередь является неотъемлемой частью поддержки принятия управленческих решений при территориальном природопользовании.



Рис. 3. Схема обработки векторных моделей пространственной базы данных

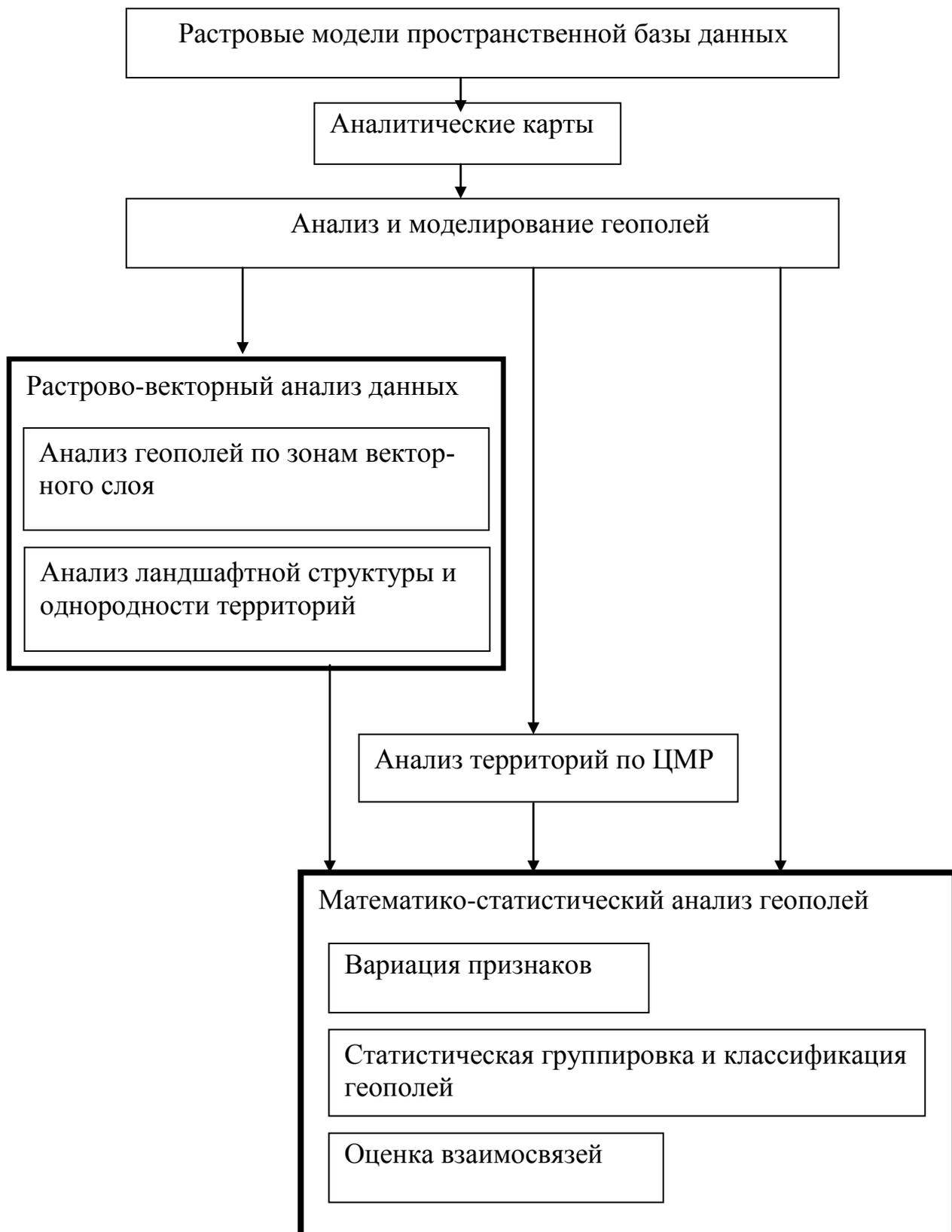


Рис. 4. Схема обработки и анализа растровых моделей пространственной базы данных

**Модели блоков пространственной базы данных.** В ГИС моделью реальности являются электронная карта – программно-управляемое изображение, визуализированное с использованием программных и технических средств в принятой для карт проекции и системе условных знаков.

При создании электронных карт в ГИС используют векторные и растровые способы. В векторных моделях все пространство представлено в виде линий, точек и полигонов. Векторные данные могут кодироваться с любой степенью точности. Как правило, файл данных в векторном формате содержит ряд значений (обычно три): порядковый номер, или идентификатор, и пары координат X, Y.

Растровые данные образуются путем наложения прямоугольной или другой сетки на исследуемую поверхность. Файлы создаются, как правило, в формате ASCII и значения вводятся построчно, с верхнего левого угла к правому нижнему. Представление атрибутивной информации в растровых моделях осуществляется по ячейкам, она может иметь как числовое, так и буквенное значение. Каждая ячейка может содержать несколько десятков таких атрибутов. Растровые ГИС, как правило, включают несколько десятков и сотен картографических слоев, представляющих собой все ячейки покрытия по какому-то одному атрибутивному показателю.

В настоящее время основные базы данных пространственной информации, в которых содержится информация об объектах (природных и техногенных), организуются всегда в векторной модели данных. На ней реализуются базовые свойства ГИС как информационной системы. Растровая модель данных используется как первичная для представления информации о пространственных явлениях, описываемых непрерывными полями (рельеф местности, геохимические поля). Совместно растровые и векторные модели используют для некоторых видов аналитических операций, в результате выполнения которых результаты или переводятся обратно в векторную модель как новые графические объекты или дополняют набор атрибутов существующих векторных объектов.

Растровая модель в современной ГИС занимает подчиненное положение, и обычно операции с ней реализуются с помощью дополнительных функциональных модулей, таких, как GRID в ARC/INFO, Spatial Analyst в Arc View. Сегодня проблемно-ориентированные ГИС все чаще используются как средство для серьезного пространственного анализа и моделирования природных процессов и явлений. В связи с этим возрастает актуальность использования в проблемно-ориентированных ГИС растровых моделей данных. В качестве отдельного вида применения растровых данных в ГИС можно рассматривать использование отсканированных растровых карт, которые используются как растровая подложка для векторной ГИС, часто значительно повышая наглядность представления информации. Еще один вариант использования растровой информации в ГИС – это растровые тематические карты, полученные по ДДЗ. Но самым важным сегодня направлением применения растровой информации в ГИС является работа с ДДЗ, с данными различных съемок – космических и аэро. Особенно быстро развивается использование геометрически трансформированных

снимков с устранением на них практически всех искажений (ортофото), включая искажения из-за рельефа местности. Такой снимок в геометрическом отношении ничем не уступает карте, также позволяет производить высокоточные измерения направлений и длины линий, координат объектов, периметров и площадей. Проблемно-ориентированные ГИС все более неразрывным образом оказываются связанными с дистанционным зондированием, и в будущем процесс пополнения тематическими данными будет идти практически без участия бумажных карт как источника информации. Карта станет не источником, а производным документом для ГИС. Источниками станут данные съемок из космоса и полевые работы, которые будут поставлять информацию непосредственно в ГИС минуя бумажную стадию.

Изготовление цифровых моделей (ЦМ) в современных условиях является многоэтапным, относительно длительным процессом, в котором картографическая информация из графической формы преобразуется в цифровую, записывается на машинных носителях, подвергается неоднократной обработке и структурированию. В этом процессе участвует большое число исполнителей разных специальностей, сложный комплекс технических средств и программного обеспечения. В связи с этим возникновение ошибок при изготовлении ЦМ неизбежно, так как оно обусловлено сложностью системы и многообразием факторов, оказывающих на нее влияние. Совершенно очевидно, что главным показателем качества ЦМ является ее достоверность – степень безошибочности (неискаженности) получения, передачи, обработки и хранения в системе картографической информации при заданных условиях ее эксплуатации.

В настоящее время важнейшим источником информации для поддержания пространственной базы данных в актуальном состоянии, особенно если фактор актуальности играет важную роль (контроль стихийных бедствий, экологический мониторинг, оценка природных условий и ресурсов и т. д.), являются данные дистанционного зондирования. Следует констатировать тенденцию взаимного сближения технологий ГИС и технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли. Современные технологии обработки ДДЗ основываются на цифровых методах обработки изображений и включают следующие процедуры:

- импорт ДДЗ с различных источников;
- геометрическая коррекция и координатная привязка изображений;
- комбинирование нескольких изображений с целью получения целостной картины исследуемой территории;
- спектральная коррекция синтезированного изображения с целью улучшения его качества и приведения разных характеристик исходных изображений в единую систему;
- автоматизированная классификация объектов целостного изображения и их группирование по спектральным свойствам и структуре изображения.

Перечисленные выше цифровые методы обработки ДДЗ создают основу применения ГИС-технологий для пространственного анализа и моделирования ПСПС. Такая комплексная технология является наиболее перспективной, по-

сколькo способствует расширению возможностей проблемно-ориентированных ГИС как систем обработки и анализа пространственных данных

Эффективность анализа существенно возрастает при использовании базы данных, в которой хранятся разнообразные сведения, полученные на разных этапах анализа. Одной из тенденций развития геоинформатики является повышение функциональных возможностей и интеллектуальности ГИС и ГИС-технологий. Развитие функциональных возможностей ГИС является требованием современного научного подхода к оценке и анализу ПСПС и приводит к расширению перспектив использования ГИС при поддержке принятия управленческих решений. Расширение функциональных возможностей ГИС при обработке и анализе информации включает:

- набор методов автоматизированной обработки и накопления данных;
- набор методов анализа и извлечения знаний;
- набор методов интерпретации знаний;
- автоматизированное обновление данных и знаний.

В проблемно-ориентированной ГИС «Мордовия» разработан ряд модулей, реализующих функции обработки и анализа компьютерных изображений, представляющих собой данные дистанционного зондирования. Эти функции предусмотрены для работы со сканерными космическими снимками, материалами аэрофотосъемок, фотографиями различных объектов. Основные достоинства данных функций – быстрая и оптимизированная оценка изменений ПСПС при поддержке управленческих решений. Функции реализованы в виде пунктов меню и инструментов в интерфейсе ГИС ArcView и могут быть динамически подгружены при анализе данных и решении задач территориального природопользования.

Функции обработки и анализа ДДЗ реализованы в двух отдельных модулях – «Трансформирование ДДЗ» и «Анализ ДДЗ» (рис. 5). Функции первого модуля предназначены для совмещения изображений в единой системе координат, создания целостных изображений территории из нескольких фрагментов, создания панорамных изображений для участков местности (рис. 6). Функции второго модуля предназначены:

- для оценки степени перекрытия изображений ДДЗ – это обеспечивает возможность оценки качества аэросъемочных материалов, площади перекрытия территориальных комплексов на разновременных материалах ДДЗ;
- для задания локальной системы координат на изображениях ДДЗ – это позволяет оптимизированно оценивать изменения в положении географических объектов и территориальных комплексов на разновременных материалах ДДЗ;
- для конвертирования ДДЗ в формат GRID – это позволяет для анализа ДДЗ применить функции обработки и анализа, предназначенные для формата GRID;
- для совмещения изображений ДДЗ с тематическими слоями пространственной базы данных – это обеспечивает возможность качественного и достоверного дешифрирования при исследовании и оценке природно-социально-производственных систем.



Р и с . 5. Основные функции модулей обработки ДДЗ



Р и с . 6. Мозаика изображений ДДЗ

Таким образом, созданный в работе блок базы данных дистанционного зондирования и аналитическая подсистема обработки и анализа материалов

ДДЗ и тематических слоев пространственной базы данных позволят геоэкологам в простой и доступной форме осуществлять оценку состояния природно-социально-производственных систем. Достоинством данной разработки является то, что функции интерпретации ДДЗ интегрируются с функциями ГИС-анализа в едином комплексе проблемно-ориентированной системы.

## **2.2. Моделирование природно-социально-производственных систем и решение задач геоэкологического районирования территорий**

Характеристика ПСПС и их элементов обычно включает в себя определение средних значений и статистических показателей, описывающих разнообразие свойств, особенности пространственного размещения объектов с определенными свойствами, изменение этих свойств в пространстве и некоторые другие. Обычно в центре внимания исследователя оказываются такие свойства, как: 1) плотность; 2) однородность; 3) взаимное расположение; 4) упорядоченность; 5) соседство; 6) функциональная и пространственная структура и взаимосвязь; 7) сложность. В ГИС «Мордовия» они оцениваются с использованием цифровых моделей векторного или растрового формата. С их помощью можно оценить плотность объектов (точек, линий или фигур), определив число тех или иных элементов, приходящихся на единицу площади. Остальные свойства количественно можно оценить методами обработки массивов чисел с учетом пространственного аспекта данных. Собственно измерительными операциями в исследовании распределения плотности объектов в изучаемом пространстве являются измерение площади естественных или искусственных территориальных выделов. Получение характеристик их густоты представляет собой одну из процедур обработки массива данных, добытых при измерении.

Одним из основных методов получения информации по картам является метод «скользящего окна». В ГИС «Мордовия» с учетом форматов пространственной базы данных были разработаны и программно реализованы три алгоритма «скользящего окна»: 1) виртуальное; 2) статическое; 3) динамическое. Применение того или иного алгоритма обусловлено тематической задачей, форматом пространственной базы данных, системой координат, оптимальностью использования компьютерных ресурсов. Общей функцией для всех алгоритмов является то, что в результате обработки данных «скользящим окном» образуется векторная точечная тема, точки которой пространственно совпадают с центром скользящего окна, а в полях атрибутивной таблицы этой темы находятся результаты обработки (коэффициенты корреляции, показатели энтропии, коэффициенты плотности, расчлененности и т. д.).

Виртуальное скользящее окно предназначено для обработки точечных векторных и растровых форматов данных. Начальные параметры окна, его размеры и шаг перемещения в поле исследуемых данных задаются в соответствующем запросе (в единицах используемой системы координат). Эти параметры передаются соответствующим переменным, которые хранятся в оперативной памяти компьютера. Затем программно реализуется фильтр для массива изучаемых данных. Программа анализирует координаты массива изучаемых данных

и сравнивает их с координатами вершин текущего виртуального окна, в выборку отбираются те данные, координаты которых попадают внутрь окна. Далее происходит пересчет значений соответствующих переменных с учетом шага перемещения окна по оси X и по оси Y и итерации использования фильтра повторяются согласно заданным параметрам анализа. Подобный подход реализован и для растровых данных, только в этом случае виртуальное окно обеспечивает получение значения показателя геополя. Далее выборки используются в алгоритмах тематического анализа, результаты которого передаются в соответствующие поля результирующей точечной темы (рис. 7).

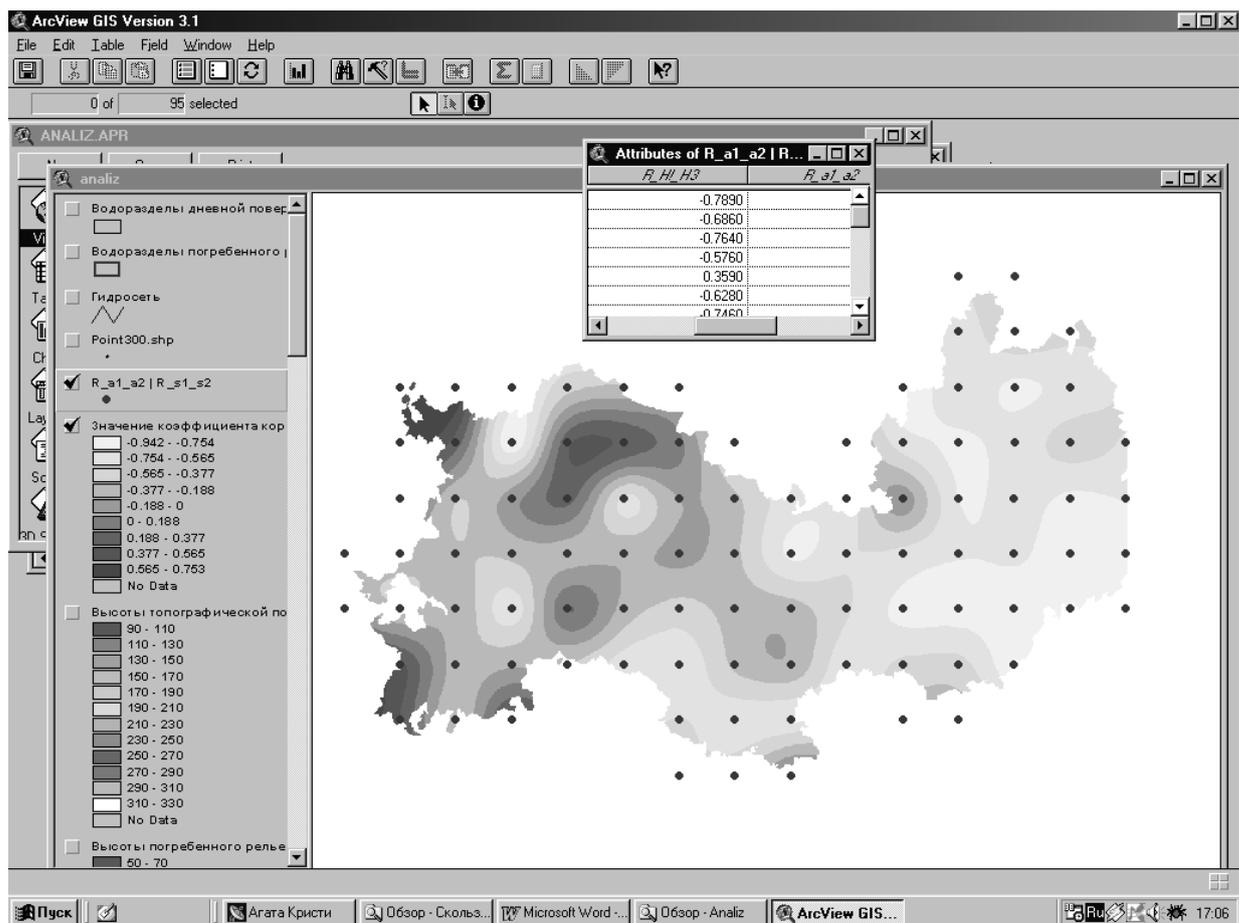


Рис. 7. Моделирование геоэкологических процессов с использованием виртуального «скользящего окна»

Достоинством виртуального «скользящего окна» является то, что привлекаются только ресурсы оперативной памяти и процессора компьютера, файловые операции применяются лишь только на стадии формирования результирующих данных, что определяет скорость проведения анализа (которая зависит также от массива данных) и возможность использования любого количества слоев данных. Перемещение в поле исследуемых данных может быть сделано с перекрытием, что обеспечит многократную обработку данных. К недостаткам этого способа можно отнести проблематичность приложения алгоритма к линейным и полигональным векторным данным, так как виртуальное «скользящее окно» не обеспечивает выполнение операций оверлея.

Статическое «скользящее окно» предназначено для обработки точечных, линейных и полигональных векторных данных. Принцип работы основан на использовании векторной полигональной сетки квадратов. Программное управление данного алгоритма использует операции оверлея. Последовательно происходит активизация каждого квадрата, вырезание векторных данных площадью квадрата, эти данные помещаются во временную векторную тему, над которой выполняется тематический анализ. Результаты анализа помещаются в атрибуты векторной точечной темы (координаты точек являются центроидами квадратов). Данный алгоритм используется для оценки морфометрических и информационных показателей, таких, как оценка плотности точечных и линейных данных, оценка ландшафтной однородности территорий. Основным недостатком способа является использование файловых операций при работе алгоритма, что снижает скорость выполнения анализа.

Динамическое «скользящее окно» предназначено для обработки точечных, линейных и полигональных векторных данных. Принцип работы основан на использовании векторной полигональной темы. Программное управление данного алгоритма передвигает векторную тему в плоскости исследуемых данных согласно заданным параметрам перемещения, а далее происходят те же операции, которые предусмотрены для статического «скользящего окна». Преимущество данного алгоритма заключается в том, что «скользящее окно» может иметь любую форму и перемещается с перекрытием, обеспечивающим многократную обработку данных. В ГИС «Мордовия» данный алгоритм используется для оценки информационных показателей. Например, в системе координат картографической базы данных получена регулярная сеть точечных пространственных объектов, атрибутами которых являются показатели абсолютной энтропии. С использованием встроенных интерполяторов ГИС построено поле распространения показателя энтропии на территории республики, которое характеризует геологическую однородность поверхностных отложений.

**Подсистема оценки пространственной организации, структуры и однородности географической оболочки на основе морфометрических и информационных показателей.** Специфическое по задачам и методам направление картографического метода исследования – морфометрия ландшафтов, предназначенная для количественной оценки ландшафтной структуры территорий. В классической картографии основной способ изображения ландшафтной структуры территорий на тематических картах – качественный фон, этот способ картографического изображения позволяет выполнять картометрические оценки периметров, площадей и форм ареалов. На основе численных значений этих показателей для оценки ландшафтной структуры территорий разработана целая система морфометрических характеристик, таких, как однородность, дифференциация, раздробленность ландшафтов, их взаимное соседство, близость, ландшафтная организация территории. Аналогичные морфометрические оценки применяют в геоэкологических исследованиях для изучения структуры почвенного покрова, растительности, залесенности, активности развития плоскостной и линейной эрозии и др. Помимо морфометрических оценок природных объектов не меньшее значение имеют морфометрические

оценки в социально-экономической сфере, позволяющие получить меры пространственного размещения промышленности, сельского хозяйства, транспортных путей, инженерных сетей и коммуникаций, а также населения. Цель этих морфометрических оценок – анализ плотности и соседства, концентрации и дифференциации промышленных и сельскохозяйственных объектов (например, густоты железнодорожной сети, распаханности территории), оценка равномерности распределения географических объектов.

В процессе создания ГИС «Мордовия» разработан ряд модулей, реализующих алгоритмы морфометрического и информационного анализов с использованием векторных и растровых моделей. Проведенные исследования позволяют сделать ряд выводов, а именно: алгоритмы морфометрического анализа, которые основаны на измерениях количественных характеристик природных объектов, таких, как параметры формы и ориентировки объектов, площади, периметры, целесообразно выполнять с использованием векторных моделей. Алгоритмы, реализующие аппарат информационного анализа, должны опираться прежде всего на математическую статистику. В этом случае предпочтительно использовать растровую модель, которая, по сути дела, является географической матрицей и позволяет эффективно использовать математические методы теории информации. Алгоритмы построения и анализа поверхностей, разработанные в геоинформатике для исследования ЦМР, функции гидрологического моделирования, функции геометрического трансформирования (комбинирование, объединение, изменение разрешения) растровых моделей могут предоставить ценную информацию для геоэкологической оценки структуры территорий. Схема подсистемы оценки пространственной организации, структуры и однородности природно-социально-производственных систем выглядит следующим образом.

А. Векторные модели пространственной базы данных	Б. Растровые модели пространственной базы данных
А.1. Оценка пространственной схемы территории и соседства, географических объектов с использованием методов математической статистики	Б.1. Оценка ландшафтной раздробленности и ландшафтной однородности территорий, основанные на алгоритмах теории информации и методах математической статистики
А.2. Оценка структуры территории, основанная на мерах ориентировки, формы и отношений осей, длин, периметров и площадей географических объектов	Б.2. Оценка структуры территорий на основе функций построения, анализа поверхностей и функций гидрологического моделирования
А.3. Оценка расчлененности территории и плотности расположения географических объектов, основанная на количественном отношении объектов к единице площади	Б.3. Оценка структуры территорий на основе морфологических функций и функций геометрического трансформирования растровых моделей, географических полей

Программная реализация приведенной схемы выполнена в виде отдельных модулей, динамически загружаемых в ГИС по мере выполнения анализа.

Векторные элементы пространственной базы данных ПСПС представляются тремя классами графических координатных моделей (точка, линия, поли-

гон); для определения параметров времени и тематической направленности существует другой класс данных – атрибуты. Совместно приведенные классы элементов образуют так называемую геореалиционную модель данных, которая служит основой отображения и анализа пространственных объектов и явлений. Определенный интерес исследователя вызывает изучение пространственного расположения самой координатной модели. Таким образом, задача распадается на исследование пространственной схемы расположения точечных, линейных и полигональных данных. Нами разработан и программно реализован ряд модулей, предназначенных для оценки пространственных схем координатных моделей.

**Исследование пространственной схемы точечной, линейной и полигональной координатных моделей.** Одна из распространенных геоэкологических задач заключается в изучении способа распределения точек на двумерной поверхности или цифровой модели. Эти точки могут соответствовать местам взятия проб или получения наблюдений. Задача может состоять в изучении однородности распределения точек наблюдения, плотности распределения или в изучении связи точек друг с другом. Существующие схемы точечных координатных моделей удобно разделить на три категории: равномерные, случайные и групповые (кластеризованные). Схема точечных координатных моделей называется равномерной, если плотность точек в любой подобласти равна плотности точек во всех других подобластях. Схема называется регулярной, если точки образуют какой-либо вид сети. Это значит, что расстояния между точками, лежащими на некотором направлении сети, остаются постоянными для всех пар точечных данных на цифровой модели. Случайная схема возникает в том случае, если любая подобласть одного размера характеризуется одной и той же вероятностью появления в ней точки, появление одних точек не влияет на появление других. Равномерность их расположения – важное условие, необходимое для применения многих видов анализа. Достоверность цифровой модели находится в прямой зависимости от плотности и равномерности расположения точек наблюдения. Критерии, применяемые для исследования равномерности точечной координатной модели, основаны на использовании алгоритма статического «скользящего окна» (приведенного выше) и проверки гипотезы об отсутствии существенных отличий в числе точек для каждой подобласти, являющейся элементом полигональной координатной модели. Проверка гипотезы выполняется с использованием критерия [Девис, 1990]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i},$$

где  $o_i$  – определяемое число точек координатной модели в каждой подобласти;  $e_i$  – ожидаемое число точек координатной модели в каждой подобласти, которое равно отношению общего числа определяемых точек к числу подобластей.

Для оценки пространственной схемы точечной координатной модели используется также алгоритм, основанный на сравнении среднего числа точек на исследуемом участке и дисперсии числа точек на участке. При сравнении среднего и дисперсии альтернативы таковы:

- среднее  $>$  дисперсии – пространственная схема ближе к равномерной, чем к случайной;
- среднее = дисперсии – случайная схема;
- среднее  $<$  дисперсии – схема ближе к кластеризованной, чем к случайной.

Статистическая значимость полученной разности проверяется с помощью t-критерия.

Приведенные выше алгоритмы исследования пространственной схемы точечной координатной модели требуют наличия полигональной координатной модели, представляющей собой слой подобластей. Ориентирование последнего в системе координат может способствовать получению различающихся оценок одной и той же пространственной схемы. К достоинствам этого алгоритма можно отнести то, что оверлейные операции в ГИС не требуют больших вычислительных ресурсов и, следовательно, использование программного обеспечения, реализующего приведенные алгоритмы, целесообразно на стадии выполнения разведочного анализа для обширных пространственных схем.

В ГИС «Мордовия» программно реализован еще один метод исследования пространственной схемы точечной координатной модели – метод ближайшего соседа. Анализируемые данные в этом алгоритме представляют собой не множество точек, расположенных внутри некоторой заданной области, а расстояния между наиболее близкими парами точек. Алгоритм поиска ближайших соседей исключает возможность оценок пространственной схемы, которая может изменяться при различных размерах квадратов, представляющих слой подобластей. Следовательно, этот анализ более чувствителен и дает более надежные оценки пространственной схемы точечных координатных моделей. Метод ближайшего соседа основан на сравнении наблюдаемого множества расстояний между парами ближайших точек с характеристиками, которые ожидалось бы в том случае, если бы точки были случайно распределены. Ожидаемые и полученные средние значения расстояний по методу ближайшего соседа используются для построения индекса пространственной схемы. Статистика ближайшего соседа изменяется от 0 для распределения, в котором все точки совпадают и разделены расстояниями, равными нулю, до значения 1, характеризующего равномерную схему распределения, и до максимального значения 2, характеризующего случайную схему распределения. К недостаткам данного алгоритма можно отнести то, что для оценки расстояний между ближайшими соседями используются большие вычислительные ресурсы и для анализа обширных пространственных схем требуется значительное время.

#### ***Анализ пространственной схемы линейной координатной модели.***

Некоторые естественно встречающиеся в природе схемы составлены из линий, которые как и множество точек, могут образовывать пространственную схему, изменяющуюся от равномерной до кластеризованной. Конечно, линейные координатные модели более сложны, чем точечные, так как они обладают длиной, ориентацией и местоположением. Соответственно их анализ более труден. Случайную схему линейной координатной модели можно определить как такую схему, в которой каждое положение равновероятно может быть пересечено некоторой линией и любая ориентация секущей линии равновероятна.

Такие случайные схемы можно генерировать различными способами. Нами был разработан и программно реализован алгоритм, основанный на преобразовании двумерной схемы в одномерную последовательность. Для этого с использованием генератора случайных чисел определяется пара координат, по которым во временном линейном слое строятся линии, количество которых генерируется согласно количеству линий в исследуемом слое. Далее находятся пересечения случайных линий и заданного множества линий, результатом чего является точечная координатная модель, пространственная схема которой оценивается методом ближайшего соседа.

*Анализ пространственной схемы полигональной координатной модели* также основан на преобразовании двумерной схемы в одномерную последовательность. Для этого рассчитываются центроиды полигонов, в результате чего получается точечная координатная модель, пространственная схема которой оценивается методом ближайшего соседа.

**Оценка структуры природно-социально-производственных систем, основанная на мерах ориентировки, формы и отношений осей, длин, периметров и площадей географических объектов.** Анализ ориентированных и направленных данных – важная категория геоэкологических исследований. Все объекты, такие, как складчатые поверхности и трещины, маркирующие горизонты, элементы гидросети, сеть автомобильных дорог и другие, имеют преобладающие направления ориентации. Данные дистанционного зондирования также показывают наличие ориентированных линейных схем. Указанные объекты могут быть исследованы количественными методами на основе морфометрических и картометрических оценок их координатных моделей.

Первые из упомянутых данных удобно изображать на диаграмме, имеющей форму циклической гистограммы. Нами разработан и программно реализован алгоритм построения циклической гистограммы для оценки ориентированных линейных данных. Алгоритм построения циклической гистограммы основан на анализе направлений в некотором множестве векторов и вычислении результирующего вектора (главного направления), который является угловым средним всех векторов выборки. Длина результирующего вектора зависит как от вклада дисперсии выборки векторов, так и от их числа. Данный инструмент можно использовать для оценки ориентировки любых линейных данных. Для оценки направленных данных в ГИС «Мордовия» разработано программное обеспечение, основанное на расчете морфометрических показателей, таких, как извилистость незамкнутых линий, мера формы, основанные на отношении осей площадных объектов. Программное обеспечение анализирует соответствующие координатные модели и выполняет расчет морфометрических показателей, показателей ориентировки элементов координатных моделей, коэффициенты вариации показателей, дает другие статистические оценки. Выполненные оценки автоматически заносятся в таблицы атрибутов координатных моделей и могут быть использованы для их классификаций.

**Оценка расчлененности территории и плотности расположения объектов, основанная на количественном отношении объектов к единице площади.** Оценка горизонтального расчленения территории характеризуется

суммарной длиной расчленяющих линий, приходящихся на единицу площади природного района или геометрической сетки. В ГИС «Мордовия» для оценки расчлененности разработаны алгоритм и программное обеспечение, основанное на оверлейных операциях над координатными моделями. Единицами площади являются координатные полигональные модели тематических слоев или сетки квадратов, а расчленяющими линиями – координатные модели линейных тематических слоев. В результате анализа генерируется точечный тематический слой, атрибутами которого являются результаты оценки горизонтального расчленения территории. Координатная модель этого слоя является пространственной оценкой центра тяжести элементов слоя, представляющего единицу площади. В дальнейшем выполняется интерполяция показателей расчлененности для всей исследуемой площади.

Оценка плотности расположения объектов на исследуемой территории основывается на расчете двух показателей. Первый отражает количество объектов, приходящихся на единицу площади, второй передает собственно плотность и показывает отношение площади, занимаемой какими-нибудь объектами или явлениями, к единице площади. Расчет этих показателей основывается на алгоритме статического «скользящего окна» и оверлейных операциях между векторными координатными моделями.

В ГИС «Мордовия» разработано программное обеспечение для оценки пространственной плотности атрибутивных данных, алгоритм которого основывается также на методе «скользящего окна». В этом алгоритме происходит обращение к атрибутивным данным объектов, являющихся выборкой текущего «скользящего окна», и выполняются статистические оценки показателей, таких, как сумма, разброс, дисперсия и т. д. Эти оценки передаются в атрибуты точечной координатной модели, по которой строятся модели плотности пространственного распределения атрибутивных данных и их оценочных показателей.

***Оценка ландшафтной раздробленности и ландшафтной однородности территорий, основанная на алгоритмах теории информации и методах математической статистики.*** В картографических исследованиях анализ неоднородности картографического изображения, который зависит как от количества ареалов на карте, так и от площади, приходящейся на долю каждого из них, производится на основе вычисления коэффициентов ландшафтной раздробленности или показателя абсолютной или относительной энтропии. В работе оценка ландшафтной структуры территорий выполняется с использованием векторной полигональной координатной модели, представляющей слой границ изучаемой территории и растрового тематического слоя, представляющего границы ландшафтов. Исходя из теории математической статистики, эти слои пространственной базы данных представляют так называемую таблицу сопряженности, анализ которой основан на методах коствабуляции переменных. Нами разработан и программно реализован алгоритм расчета ландшафтного разнообразия на основе анализа таблиц сопряженности и коэффициентов энтропии. Рассчитанные коэффициенты заносятся в атрибутивные данные слоя полигональной координатной модели и могут быть использованы в операциях районирования и классификации территориальных единиц.

**Оценка структуры территорий на основе функций построения, анализа поверхностей и гидрологического моделирования.** Одно из важных условий нормального функционирования инженерных сооружений – отсутствие в пределах их расположения таких природных явлений, которые могли бы нарушить устойчивость их фундаментов или нанести повреждения надземным частям сооружений. Большинство этих явлений связано с процессами, протекающими в недрах на различной глубине, а также на земной поверхности. К ним относятся различного рода провалы, оползни, разливы рек и другие процессы. Многие из них являются к рельефообразующими, так как их проявление сопровождается проявлениями в рельефе, изменяющими его с различной скоростью, и поэтому можно говорить, что анализ поверхностей является одним из важных видов оценки структуры и устойчивости территории. Подобная оценка обосновывается не только полем высот, но и распределением уклонов склона, неравномерностью распределения густоты и глубины эрозионного расчленения.

При создании ГИС «Мордовия» нами разработан модуль для оценки структуры территорий на основе растровых цифровых моделей рельефа и цифровых моделей других поверхностей. Модуль «Анализ территорий» включает следующие группы функций:

- для построения поверхностей;
- анализа поверхностей;
- гидрологического моделирования.

Функции построения поверхностей основаны на использовании следующих методов интерполяции: обратновзвешенных расстояний, сплайн, кригинг и тренд. В модуле оптимизирован выбор исходных данных для построения поверхностей. Исходными слоями для этого могут быть не только точечные координатные модели, атрибутами которых являются абсолютные отметки рельефа или другие показатели, но и возможно построение поверхностей на основе линейных координатных моделей, таких, как горизонтали рельефа, элементы гидросети и другие.

Функции анализа поверхностей включают анализ экспозиции склонов, анализ уклонов, анализ освещенности, анализ кривизны поверхности, анализ видимости.

Группа функций гидрологического моделирования основана на использовании ЦМР и включает оценки характера стока поверхностных вод и физических особенностей поверхности.

Модуль реализует следующие функции гидрологического моделирования:

- определение направления потока поверхностных вод;
- определения длины потоков поверхностных вод;
- определение сети водотоков;
- определение водосборных бассейнов.

**Оценка структуры территорий на основе морфологических функций и функций геометрического трансформирования растровых моделей, географических полей.** Нами разработан модуль для оценки структуры террито-

рий, основанный на операциях геометрического трансформирования, изменения разрешения, объединения, комбинирования, группировки, сглаживания и фильтрации растровых моделей, представляющих тематические слои территориальных единиц. Модуль содержит следующие функции:

- геометрическое трансформирование и построение мозаики геополей (позволяет выполнять сдвиг и разворот растровых моделей в системе координат и объединение нескольких растровых моделей в базовый тематический слой);
- изменение разрешения и объединение геополей (позволяет менять разрешение существующего растрового слоя для приведения всех слоев к одному разрешению и уменьшаться объем пространственной базы данных);
- комбинирование геополей (позволяет создать растровый слой с уникальными значениями путем комбинирования нескольких геополей);
- группировка геополей (позволяет группировать значение геополей в связанные регионы путем анализа пространственного положения элементов растрового слоя);
- сглаживание и фильтрация геополей (позволяет изменять значения элементов растрового слоя на значения большинства смежных элементов растрового слоя).

**Подсистема поиска закономерностей и оценки взаимосвязи геоэкологических объектов и явлений на основе способов картографического изображения и статистического анализа взаимосвязей.** Слои пространственной базы данных представляют информацию о территории в оптимальном виде. Это дает возможность сравнивать различные ее части, для того чтобы определять закономерности распределения различных величин и показателей. Визуальное представление показателей, законов их распределения позволяет установить места с резкими и плавными изменениями и может дать более глубокое представление о связях между природно-социально-производственными системами и закономерностях проходящих в них процессов. Анализ зависимостей между местоположением объектов и их величиной часто помогает понять, как ведут себя те или иные процессы и явления. В геоэкологических исследованиях для визуального представления распределения территориальных показателей широко используют картодиаграммы, картограммы, гистограммы, анаморфозы. Методология геоинформационных технологий позволяет обеспечить процесс построения этих графических представлений территориальных показателей высокой степенью автоматизации.

В ГИС «Мордовия» разработан модуль, позволяющий на основе цифровых моделей тематических карт и атрибутивной информации пространственной базы данных выполнять построение различных картографических образов изучаемой территории, картограмм плотности на основе регулярной сетки, картодиаграмм на основе атрибутивных данных, анаморфоз, картограмм Вороного, диаграмм ближайших расстояний, картограмм полей плотности.

Картограмма представляет собой способ изображения интенсивности какого-либо явления в пределах единиц какого-либо территориального деления. В

модуле на основе оверлейных операций выполняется расчет плотности точечных или линейных координатных моделей в пределах полигональных и на этой основе строятся картограммы.

Картодиаграммы представляют способ отображения количественного показателя какого-либо явления посредством диаграмм, размещенных на карте внутри единиц территориального деления. В модуле на основе атрибутивных данных цифровых моделей тематических карт выполняется построение различных видов диаграммных фигур, представляющих статистику показателей внутри единиц территориального деления.

Как известно, анаморфированные картографические изображения являются эффективным способом тематического картографирования при показе отношений и связей географических явлений. В модуле реализован численный метод построения анаморфоз на основе полигональных координатных моделей тематических карт и их атрибутивных данных.

Диаграмма Вороного – это особая диаграмма рассеяния одной переменной, построение подобной диаграммы является как методом графического представления данных, так и аналитическим средством. Пространство разделяется на области, максимально близкие к наблюдаемым точкам, иными словами, строятся зоны влияния точек. В ГИС-технологиях построение подобных диаграмм опирается на теорию так называемой «картографии близости», в которой близость определяется по линейному расстоянию до исходных объектов. В модуле реализовано построение картограмм Вороного для точечных координатных моделей на основе функций определения близости. Зоны влияния точек моделируются полигональной координатной моделью, что позволяет вычислять площади зон влияния и выполнять пространственные выборы объектов, попадающих в зоны влияния.

Диаграммы ближайших расстояний представляют наглядную оценку расположения объектов на изучаемой территории. В модуле реализовано программное обеспечение, которое выполняет оценку ближайших расстояний между точечными координатными моделями и построение линейной координатной модели ближайших расстояний.

Картограммы полей распределения плотности объектов или явлений представляют наглядное отображение территориального размещения. В модуле разработано программное обеспечение, выполняющее построение картограмм плотности расположения объектов.

Графическое представление данных в геоэкологических исследованиях очень эффективно для их анализа и интерпретации. Это связано с тем, что человек более 50 % информации получает визуально, а данные, представленные в графическом виде (графики, диаграммы), существенно упрощают их восприятие, понимание и интерпретацию. Аналитические карты пространственной базы данных представлены растровыми моделями, что позволяет для их анализа выполнять построение особого вида диаграммы – гистограммы. Гистограмма дает возможность сравнивать элементы геополя с различными значениями на диаграмме. Если географическое поле представлено непрерывной переменной, то гистограмму можно использовать для исследования закона распределения

этой переменной. Гистограмма создается с использованием классов и символов легенды растрового слоя, столбцы гистограммы представляют число элементов растрового слоя, включенные в отдельный класс.

Одним из способов изучения взаимосвязей между географическими объектами и явлениями служит создание гистограммы элементов растрового слоя, принадлежащих определенной территории, которую можно задавать с помощью полигональной координатной модели. В работе создано программное обеспечение, реализующее построение гистограмм растрового слоя по зонам векторной полигональной модели. Гистограммы по зонам показывают распределение непрерывной переменной, которую представляет геополе, в пределах классов другой переменной, которую представляет векторная координатная модель. Подобные гистограммы демонстрируют вид зависимостей между тематическими слоями пространственной базы данных.

Еще одним эффективным методом оценки взаимосвязей с использованием гистограмм является метод построения гистограмм статистической оценки показателя геополя по зонам векторного слоя. Нами разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять построение гистограмм статистических оценок показателей геополя по зонам тематического векторного слоя. При этом возможно построение гистограмм для минимального, максимального, среднего значения показателя геополя в пределах векторных зон, а также суммы, разброса, дисперсии, среднеквадратического отклонения показателя геополя.

Вышеизложенные методы исследования взаимосвязей эффективно использовать для анализа тематических слоев, в которых один является географическим полем и представляет численное значение показателя, второй же слой представляет значение показателя в качественном виде. Если оба тематических слоя являются геополями, метод с использованием гистограмм является менее эффективным и может не обеспечить получение достоверных оценок взаимосвязей. В этом случае целесообразно вычисление парных коэффициентов корреляции или использование множественных и частных показателей связи. В ГИС «Мордовия» разработано программное обеспечение для создания картографических моделей взаимосвязей между географическими полями, основанное на парной, частной и множественной корреляциях. Программное обеспечение работает по методу виртуального «скользящего окна», параметры которого могут динамически изменяться для обеспечения достоверных оценок коэффициентов корреляции.

Одним из методов изучения взаимосвязей в географии является метод построения карт отклонения от регрессии. В ГИС «Мордовия» разработано программное обеспечение, которое на основе показателей двух геополей выполняет расчет коэффициентов уравнения линейной регрессии, а затем создает новое геополе, показатели которого рассчитаны на основе коэффициентов уравнения регрессии. Далее с использованием возможностей «алгебры карт» создается геополе, являющееся разностью исходного геополя и рассчитанного на основе уравнения регрессии, которое представляет показатели отклонения от регрессии.

Географические поля пространственной базы данных представляют собой географические матрицы, иными словами, пространственно совмещенные статистические выборки, которые можно исследовать статистическими методами проверки гипотез о положении и рассеивании элементов этих выборок и при этом изучать взаимосвязи между географическими объектами или явлениями. Схема методов для решения задач о сравнении параметров распределения пространственно совмещенных статистических выборок приведена в табл. 11.

Таблица 11

**Схема методов для решения задач о сравнении параметров распределения пространственно совмещенных статистических выборок**

Формулировка задачи в прикладной постановке	Формулировка задачи в статистической постановке	Применяемый статистический метод
1. Сравнение показателей контрольной и экспериментальной выборок	Проверка гипотезы о равенстве средних (центров распределения) в двух независимых выборках	t-критерий (Стьюдента) без предположения о дисперсиях
2. Сравнение показателей выборки до и после эксперимента	Проверка гипотезы о равенстве средних в двух независимых выборках	t-критерий (Стьюдента) для связанных выборок
3. Можно ли считать, что среднее значение показателя равно некоторому номинальному значению?	Проверка гипотезы о равенстве среднего константе	t-критерий (Стьюдента)
4. Сравнение рассеивания показателя в двух выборках	Проверка гипотезы о равенстве дисперсий (о принадлежности дисперсий одной генеральной совокупности)	F-критерий (Фишера)
5. Можно ли считать, что в нескольких выборках имеется одно и то же значение показателя?	Проверка гипотезы о равенстве дисперсий (о принадлежности дисперсий одной генеральной совокупности)	метод множественных сравнений Шеффе
6. Можно ли считать, что в нескольких выборках имеется место одно и то же значение рассеивания показателя?	Проверка гипотезы о равенстве средних (о принадлежности средних одной генеральной совокупности)	проверка нескольких средних посредством дисперсионного анализа

Методы статистического анализа геополей и созданное на их основе программное обеспечение в ГИС «Мордовия» позволяет проводить оценку взаимосвязей и закономерностей при решении следующих прикладных геоэкологических задач:

- сравнение показателей контрольной и экспериментальной выборок, например двух природных территориальных комплексов, находящихся в разных условиях техногенного воздействия;

- сравнение показателей выборки до и после эксперимента. В данном случае выполняется анализ так называемых связанных выборок. Например, сопоставляется значение некоторого показателя состояния ландшафта до и после антропогенного воздействия;
- проверка соответствия среднего значения показателя некоторому номинальному значению. Для какого-то показателя природного комплекса может существовать некоторое значение, считающееся нормой. Необходимо проверить, равно ли норме среднее значение показателя в исследуемом природном комплексе;
- сравнение рассеивания показателя в двух выборках. В некоторых экспериментах важно не среднее значение показателя, а его рассеивание. Например, для последующего хозяйственного использования ландшафта необходимо подобрать такой вид природопользования, чтобы рассеивание признаков было наибольшим или наименьшим;
- оценка равенства значения показателя в нескольких выборках. Задача аналогична предыдущей, но сравниваются несколько видов природопользования;
- оценка равенства значения рассеивания показателя в нескольких выборках. Например, применяется несколько видов техногенного воздействия на природный комплекс и необходимо установить, являются ли показатели природопользования статистически неотличимыми.

**Использование геоинформационных технологий для решения задач геоэкологического районирования территорий.** Одним из важнейших направлений автоматизации процедур геоэкологического районирования территорий является использование классификационных методов анализа, которые широко применяются в различных программных приложениях, в частности как технология обработки данных; как метод создания классификаторов; как метод образования и группировки данных при изучении новых объектов и явлений; как метод анализа и отнесения статистических данных к известным классам и подклассам; как метод упрощения сложных моделей.

В геоинформационных технологиях применение методов классификации можно разделить на три типа, которые определяются разным подходом к целям и методам обработки информации, а именно при сборе данных, анализе и представлении. В ГИС для оценки состояния ПСПС методы классификации эффективно использовать для интерпретации и идентификации областей, объектов и явлений, то есть на этапе геоэкологического районирования территорий. Числовые показатели или совокупности слоев пространственной базы данных сопоставляются между собой или с конкретными числовыми значениями, при этом определяются классы и их характеристики. Такие классы могут идентифицировать растительность, полезные ископаемые, экологическую ситуацию и т. д. Классы объединяют объекты с подобными значениями, назначение диапазонов классов указывает, какие объекты к какому классу будут отнесены, что в свою очередь определяет особенности их графического отображения. Разность значений между объектами разных классов обычно делается максимально

большой, чтобы обеспечить как достаточный контраст отображения, так и попадание объектов с подобными значениями в один класс.

Современные ГИС-технологии позволяют выполнять классификацию вручную или с использованием стандартных схем. Необходимость ручной классификации возникает тогда, когда необходимо сгруппировать объекты, отвечающие специфическим критериям или сравнить значения их атрибутов с конкретной характерной величиной. Когда классификация данных преследует цель выявления закономерности пространственного распределения, используются стандартные схемы разбивки данных на интервалы: естественная разбивка, квантиль, равные интервалы, стандартное отклонение. Приведенные схемы группировок данных в классы, как правило, учитывают характер распределения статистической выборки. В большинстве географических задач приходится иметь дело со сложными комбинациями действующих факторов, которые не удастся выделить в чистом виде и изучать изолированно. Часто бывает трудно принять обоснованное решение относительно какого-либо из факторов. В этом случае лучший способ решения задачи состоит в ее всестороннем исследовании, которое позволяет выделить наиболее важные факторы. Методы классификации могут оказать в этом существенную помощь.

В ГИС, используемых для геоэкологической оценки состояния ПСПС и поддержки принятия решений при территориальном природопользовании, наибольший интерес представляют автоматизированные методы выполнения классификации и районирования территории. В ГИС «Мордовия» создано программное обеспечение для выполнения классификации и районирования территорий, основанное как на стандартных методах классификаций, используемых в ГИС-технологиях, так и на методах статистических группировок, разработанных для обработки числовых выборок, и методах тематической классификации, например классификация потоков различных величин и порядков.

Блок-схема подсистемы районирования территорий на основе методов классификации выглядит следующим образом. Пространственная база данных в своем составе имеет как векторные модели геоэкологических объектов и явлений, так и растровые, причем последние представлены непрерывными географическими полями или тематическими растрами, содержащими определенные классы объектов. Стандартные методы классификации, применяемые в ГИС-технологиях, в основном ориентированы на растровые модели и наиболее развиты для тематических растров. На основе стандартных методов классификации разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять классификацию тематических растровых моделей по их геометрическим характеристикам, таким, как площадь, периметр, толщина. Это позволяет выполнять районирование территорий на основе геометрических характеристик геоэкологических объектов.

Определенный интерес может представлять совместная классификация непрерывных и тематических растровых моделей. Это придает многомерность стандартным методам классификации, используемым в ГИС-технологиях.

В ГИС «Мордовия» внедрено программное обеспечение, с использованием которого выполняется классификация, где тематические растровые модели

представляют определенные территориальные зоны, а непрерывные растровые модели – пространственные статистические выборки. Программное обеспечение позволяет выполнять классификацию по статистическим показателям, таким, как среднее, медиана, сумма, разброс, а также по таким значениям показателя, как количество уникальных значений, меньшинство, большинство.

При выполнении процессов классификации в ГИС важным является вопрос назначения числа и диапазона классов. Этот вопрос решается на основе экспертных оценок, знаний и опыта исследователя. Автоматизация процесса назначения числа и диапазона классов оптимизирует работы по районированию территорий на основе методов классификации. Большое количество слоев пространственной базы данных имеет вид статистических наборов, которые необходимо упорядочить и обобщить. Для этой цели используются статистические методы обработки, которые позволяют обобщить статистические данные в виде групп, характеризующих одинаковые показатели. Одним из способов такого обобщения является статистическая группировка показателей пространственной базы данных. При назначении интервалов изменения группировочного признака, число групп связывается с объемом изучаемой совокупности так, что каждый новый элемент выборки дает меньшую информацию о совокупности, чем любой предшествующий. Этот подход основан на известной в статистике формуле расчета числа групп [Девис, 1990]:

$$K = 1 + \log_2 N,$$

где N-объем совокупности.

Найденное количество групп позволяет назначить величину интервала изменения группировочного признака:

$$h = (X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}) / K$$

В ГИС «Мордовия» разработано программное обеспечение, реализующее приведенный выше алгоритм статистической группировки. При этом растровые модели пространственной базы данных представляются как статистические выборки, элементы которых группируются согласно их количеству и признаку. Данное программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме получать количество и величину интервала изменения группировочного признака, что может оптимизировать процесс проведения геоэкологических оценок для принятия решений по оптимизации природопользования.

Группировка, в основу которой положены два или более признаков, является многомерной. Многомерной статистической группировкой является такая, в которой совокупность объектов распределяется на некоторое число групп исходя из значений нескольких признаков одновременно в комплексе. В процессе такой группировки может решаться задача типизации исходя из комплекса признаков. Процедуры многомерных группировок, реализуемые в компьютерных системах, требуют больших системных ресурсов и решаются методами кластерного, факторного анализа, системами распознавания образов. Из упрощенных методов многомерных группировок можно указать метод многомерных средних. Суть его состоит в том, что первичные данные заменяются нормированными по их среднему значению показателями, по которым для каждого объ-

екта рассчитывается средняя арифметическая величина. Совокупность этих средних величин представляет некоторый обобщенный признак; в соответствии со значениями обобщенного признака происходит распределение объектов на группы, как и для случая простой одномерной группировки. Нами разработано программное обеспечение, реализующее приведенный выше метод многомерной группировки.

Модели группировки территориальных единиц по комплексу показателей, используемые в географии, на основе целей их применения можно подразделить на две большие группы, ориентированные на моделирование оценочных и типологических характеристик. В первом случае модели строятся при условии гомогенности территориальных единиц внутри таксонов, которые должны быть иерархически упорядочены между собой. Условие создания моделей второго типа – лишь гомогенность объединяемых в одну группу территориальных единиц. В пределах данного вида моделей может ставиться дополнительное условие максимальной гетерогенности между однородными таксонами.

Мощным инструментом классификации при геоэкологической оценке территорий является построение моделей, ориентированных на моделирование оценочных синтетических характеристик [Тикунов, 1997]. Алгоритм этих исследований позволяет получать синтетические характеристики оценочного положения территориальных единиц по единой шкале и ранжировать данные территориальные единицы на основе этих оценок.

Суть алгоритма такова. Все природно-социально-производственные комплексы характеризуются наборами показателей, которые прежде всего следует нормировать, для чего удобно использовать формулу

$$\hat{x}_{ij} = \frac{\left| \begin{array}{c} 0 \\ x_{ij} - x_j \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{c} 0 \\ \max/\min x_j - x_j \end{array} \right|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где  $n$  – количество территориальных единиц;

$m$  – количество показателей ( $x_{ij}$ );

$0$

$x$  – наилучшие (или наихудшие) для каждого показателя оценочные значения (например, наиболее благоприятные для целей строительства климатические условия);

$\max/\min x$  – экстремальные значения показателей, наиболее отличающихся от величин  $x$  :

$$\max/\min x \equiv \min x, \text{ если } \left| \begin{array}{c} 0 \\ \min x - x \end{array} \right| > \left| \begin{array}{c} 0 \\ \max x - x \end{array} \right|,$$

$$\max/\min x \equiv \max x, \text{ если } \left| \begin{array}{c} 0 \\ \min x - x \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} 0 \\ \max x - x \end{array} \right|.$$

Данная нормировка дает возможность выразить отклонения всей системы показателей от наилучших или наихудших оценочных значений и тем самым правильнее с содержательных позиций их соизмерить между собой.

Нормировка, кроме того, позволяет установить количественные соотношения между значениями оценочных характеристик для исходных территориальных единиц или для выделяемых в последующем таксонов. В этом случае, если рассматривать нормированные показатели как приведенные к своеобразной соизмеренной форме, можно находить их суммарные значения:

$$S_i = \sum_{j=1}^m \frac{\left| \begin{matrix} 0 \\ x_{ij} - x_j \end{matrix} \right|}{\left| \begin{matrix} 0 \\ \max/\min x_j - x_j \end{matrix} \right|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Такие величины приближенно характеризуют оценочное положение территориальных единиц за счет того, что чем сильнее их показатели отличаются от наилучших значений ( $x_j$ ), тем величина  $S_i$  будет больше. Величина  $S_i$  может быть равна нулю, если весь комплекс показателей территориальной единицы совпадает с наилучшими значениями, и  $S_i$  будет равна  $m$ , если этот комплекс по всем показателям будет максимально отличаться от  $x_j$ . Чем больше величина  $S_i$ , когда  $x_j$  задана наилучшими значениями, тем хуже синтетическая оценочная характеристика у соответствующей территориальной единицы (и наоборот для наихудших значений).

В ГИС «Мордовия» на основе приведенного выше алгоритма разработано программное обеспечение, с использованием которого можно проводить районирование территорий исходя из некоторых предварительно известных оценочных характеристик. Программное обеспечение работает следующим образом: имеется растровый слой, содержащий некоторый показатель, пользователь вводит оценочное значение этого показателя, в итоге работы программы генерируется новый растровый слой, содержащий значения  $S_i$ .

Перспективным направлением в исследовании природно-социально-производственных систем является классификация на основе типологических синтетических характеристик. Для этих целей используется большое количество алгоритмов, в основе которых лежат отличные друг от друга способы членения исходного множества изучаемых объектов на непересекающиеся подмножества. Один из таких алгоритмов предполагает нормировку матрицы исходных показателей по дисперсиям:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m,$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}.$$

Нормированные показатели ( $\hat{x}_{ij}$ ) образуют матрицу, идентичную матрице, на основе которой рассчитываются евклидовы расстояния. Все территориальные единицы представляются в виде точек в  $m$ -мерном пространстве, координатами которых служат нормированные исходные показатели. Евклидовы расстояния ( $d_{ik}$ ), соединяющие каждую пару точек, отражают различие свойств территориальных единиц, на чем основывается дифференциация территории. Их вычисление осуществляется по известной формуле

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\hat{x}_{ij} - \hat{x}_{kj})^2}, i = 1, 2, 3, \dots, n; k = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Все рассчитанные по приведенной формуле расстояния отражают различия между территориальными единицами. Нами на основе вышеприведенного алгоритма разработано программное обеспечение для решения задач районирования по комплексу признаков. Результатом реализации алгоритма является растровый слой Евклидовых расстояний –  $d_{ik}$ , характеризующий различие свойств территориальных единиц.

### **2.3. Разработка проблемно-ориентированного интерфейса для геоэкологической оценки состояния природно-социально-производственных систем**

Под интерфейсом понимается совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие компьютерных систем, периферийных устройств, внешних программ и приложений, а также пользователей компьютерных систем (пользовательский интерфейс). В операционных системах Windows пользовательский интерфейс, как правило, оформляется графически (графический интерфейс пользователя – GUI-интерфейс). GUI-интерфейс – это графическая среда взаимодействия пользователя с компьютерной системой. Его основными элементами являются окна, меню, линейки (панели) инструментов (tool bar), представляющие собой наборы пиктограмм, выбор которых инициирует какое-либо действие, линейки прокрутки (scroll bar) и элементы управления (controls): кнопки (buttons), в том числе кнопки команд (command buttons), кнопки настройки (options buttons), переключатели (radio buttons), наборы значений (values sets), выключатели (check boxes), списки (list boxes) и др.

Таким образом, интерфейс – это внешняя оболочка приложения в виде программ управления доступом к перерабатываемой информации и к инструментам переработки, а также других скрытых от пользователя механизмов управления, дающая возможность работать с документами, данными и другой информацией, хранящейся в компьютере или за его пределами. Главная цель любого приложения – обеспечить максимальное удобство и эффективность работы с информацией: документами, базами данных, графикой или изображени-

ями. Поэтому интерфейс является одной из важнейших частей любого приложения.

Выбор того или иного типа интерфейса зависит от сложности разрабатываемого приложения, поскольку каждый из них имеет некоторые недостатки и ограничения и предназначен для решения определенных задач. При разработке интерфейса необходимо ответить на ряд вопросов: какое количество и какие типы документов обрабатываются в приложении; имеют ли данные древовидную иерархию или представлены в локальных реляционных базах данных; требуется ли панель инструментов или необходимо обеспечить модульный выбор функций приложения; каков тип связи с другими приложениями (например, DDE, OLE, технология клиент/сервер); будет ли приложение работать в многозадачной среде или в компьютерной сети и т. д. Только после этого можно выбирать конкретный тип интерфейса и определять его характерные особенности, в общем случае влияющие на выбор интерфейсного решения приложения.

В настоящее время для приложений, разрабатываемых в среде Windows, в том числе и для ГИС-приложений, используют три типа интерфейсов: однодокументный – SDI (Single-Document Interface), многодокументный – MDI (Multilane-Document Interface) и интерфейс типа проводника (Explorer). Отметим, что под документом в данном случае понимается форма (окно), предназначенная для работы с данными, а не с конкретным документом. Наиболее часто используются первые два типа интерфейсов.

Однодокументный интерфейс – это тип интерфейса, в котором предоставляется возможность работы только с одним документом в одном окне. Примером может служить редактор Microsoft WordPad. Вьюеры в ГИС ERDAS IMAGINE также используют SDI-интерфейс, в котором для каждого типа данных и документов требуется своя форма. Положительной стороной приложений, имеющих такой тип интерфейса, является то, что они занимают меньше места на диске и в оперативной памяти, а также в том, что на их разработку уходит гораздо меньше времени, что немаловажно. Интерфейс типа SDI состоит из следующих основных элементов: главного меню; панели инструментов с элементами управления; окна приложения для размещения элементов управления данными; элементов управления для работы с данными; строки состояния.

Интерфейс типа MDI дает возможность работать в одном приложении с любым количеством открытых окон. Примером такого интерфейса может служить приложение Microsoft Word или ГИС ArcView. Для него характерно наличие одного главного окна (MDI-окно), которое обычно именуется **родительским окном**, и необходимого для работы количества подчиненных (вложенных) окон, называемых **дочерними**. В состав интерфейса MDI входят следующие элементы: главное меню; панель инструментов с элементами управления; главное окно приложения; дочерние окна; элементы управления для работы с данными, расположенные в дочерних окнах; строка состояния.

Интерфейс типа проводника разрабатывается для доступа к иерархическим древовидным структурам, то есть к таким, где встречается вложенность. Примером вложенности могут служить папки и файлы. По своей сути это ана-

лог интерфейса SDI, разработанный специально для древовидных структур. Наиболее эффективно он используется в файловых операциях. Примером такого интерфейса является проводник Windows.

При разработке пользовательского интерфейса рассматриваемой ГИС мы руководствовались принципами, обеспечивающими не только Windows ориентацию приложения, но и его тематическую (географическую) направленность.

В интерфейсе ГИС «Мордовия» были обеспечены следующие свойства [Коваленко, Нарезный, 2002].

**Проблемная ориентированность.** Ключевым элементом рассматриваемого интерфейса является систематическое изложение проблем природопользования на территории Республики Мордовия, экспертная оценка приоритетов их решения и возможность автоматизированного конструирования алгоритмов исследования и регулирования.

**Географичность.** При разработке интерфейса ГИС мы опирались на географический метод познания, исходя из того, что сущность географического исследования определяется наличием совокупности признаков, необходимых для познания окружающей действительности, – таких, как территориальность изучаемых процессов и их развитие. При этом мы стремились к обеспечению максимально полной комплексности создания моделей территориального природопользования в пространственно-временном варианте и к системному их моделированию.

**Полная геоинформационность (полноохватность поддержки информационного обеспечения).** Интерфейс позволяет реализовать комплекс форм и видов поддержки мониторинга во всех природных объектах в натуральных показателях путем качественной и количественной оценки. Он поддерживает все виды мониторинговых действий – от наземных полевых исследований до дистанционного зондирования. Интерфейс дает возможность перерабатывать все виды геоинформации: пространственную (картографическую и в виде аэрофото- и космоснимков), цифровую (в основном статистическую) и семантическую (текстовую, логическую).

**Адапционная базовость.** Интерфейс ГИС является базовым при создании частных территориальных ГИС для поддержки принятия решений в системах территориального управления сельским и лесным хозяйством, землепользованием, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера, строительным комплексом.

**Роботизированность.** Алгоритмы исследования природных и антропогенных факторов включают наборы правил в виде текстовых скриптов (в совокупности образующих интерфейсные базы знаний) для автоматизированного осуществления предусматриваемых этими алгоритмами конкретных программных действий. В результате деятельность пользователя ГИС приобретает определенные роботоподобные черты. Роботизированность интерфейса имеет большое практическое значение для таких областей использования ГИС, как государственное планирование, строительное и градостроительное проектирование, где необходимы четкий учет всех элементов и факторов планирования и

проектирования, а также жесткий контроль за деятельностью плановиков и проектировщиков.

**Экспертность и аналитичность-синтетичность (моделируемость).** Интерфейсом предусматривается возможность осуществления на единой информационной и инструментальной базе как экспертных заключений и проведения строгих аналитико-синтетических (математико-статистических и инженерно-технических) обоснований оптимизации территориального природопользования путем математического и картографического моделирования данного процесса.

**Универсальность инструментария.** В ГИС задействованы стандартные программные продукты в единой операционной среде – Windows.

**Стандартизация интерфейсных элементов.** В разработанном интерфейсе использовались стандартные, проверенные многими программистами и пользователями интерфейсные решения, в частности многие решения Microsoft, ESRI, ERDAS: дизайн форм, распределение элементов управления в формах, их взаимное расположение, значки на кнопках управления, названия команд меню и др.

**Интерактивность.** Интерфейс обеспечивает возможность активного участия пользователя в формировании ситуаций и в работе с геоинформацией.

**Виртуальность.** Интерфейс обеспечивает возможность создания программно управляемых трехмерных анимационных геоизображений и воспроизводство их в режиме субреальности.

**Дружественность, т. е. удобство и простота работы.** Интерфейс способен обеспечить максимальное удобство эксплуатации ГИС пользователями, не имеющими специальной геоинформационной подготовки. Одно из проявлений его дружественного характера – наличие справочно-информационного материала о принципах построения и методике использования. Удобство пользователям создает контролируемость последовательности реализации алгоритмов, обеспеченная возникновением подсказок на операционных кнопках при их задействовании. Интерфейс должен быть интуитивно понятным, поэтому мы стремились к тому, чтобы все действия легко запоминались пользователями и не требовали утомительных процедур: выполнения дополнительных команд, лишних нажатий на кнопки, вызова промежуточных диалоговых окон и проч.

**Педагогичность.** ГИС включает в себя большое количество информационно-справочных материалов, имеющих элементы обучающего характера.

**Гносеологичность.** Универсальный характер интерфейса дает пользователям возможность самопознания иных территориальных проблем, а не только сугубо природопользовательских.

В интерфейсе ГИС «Мордовия» предусмотрен еще ряд других свойств, например обновляемость информации (возможность внесения новых данных, коррекции и модификации информации и форм ее отображения), оверлейность (возможность совмещения геоизображений различного происхождения – электронных карт, цифровых аэро- и космоснимков, цифровых фотографий и т. д.), соотносимость (соподчиненность, взаимосвязанность) семантических источни-

ков информации (возможность переходов от одного источника информации к другому) и др.

Результаты предварительных исследований в разработке приложений показывают, что во многих ситуациях разрабатываемое приложение предоставляет только часть более крупных стратегических решений. Другие приложения, такие, как геоинформационные системы фирм ESRI и ERDAS, программные продукты Microsoft Office, системы анализа данных Statistica (Stat Soft), SPSS for Windows (предоставляющие весь спектр статистической обработки данных) или программы, написанные на Visual Basic или C, также могут предоставлять основные компоненты для разрабатываемого приложения. В связи с этим актуальным становится вопрос, как заставить создаваемую ГИС работать с этими отдельными частями, чтобы сделать единый программный продукт. В ГИС апробировано несколько различных методов взаимодействия с другими приложениями. Механизм объединения этих разноплановых программных продуктов в единый комплекс, их взаимодействие при решении тематических (географических) задач основывается на следующих возможностях, предоставляемых компьютерными платформами. На всех платформах можно использовать удаленный вызов процедур (Remote Procedure Call-RPC) для установления взаимосвязей типа клиент/сервер с другими приложениями. В ГИС предусмотрена возможность динамического обмена данными (Dynamic Data Exchange-DDE) для связи типа клиент/сервер. Кроме того, используется функциональная возможность языков программирования Visual Basic, Avenue обращаться к динамически подключаемым библиотекам (Dynamic Link Library-DLL) для вызова внешних процедур.

Таким образом, предполагается, что общий программный комплекс должен функционировать следующим образом. Проблемно-ориентированная ГИС является самостоятельным приложением и обладает функциями сервера, а остальные приложения, соединяясь с ним, становятся клиентами. Технология клиент/сервер позволяет совместно использовать функциональные ресурсы между приложениями.

Нашими исследованиями установлено, что приведенную выше блок-схему проблемно-ориентированной ГИС оптимально реализовать с использованием интерфейса типа MDI в ГИС ArcView. Данный пакет целесообразно выбрать исходя из следующих соображений:

1. Стандартные инструменты пакета обеспечивают достаточно мощные функции загрузки, отображения и вывода пространственной базы данных.
2. Пакет обеспечивает возможность обработки векторных и растровых данных наиболее широко используемых форматов.
3. Встроенный язык программирования обеспечивает возможность значительного расширения и развития стандартных функций пакета как по обработке данных, так и по их анализу.
4. Пакет функционирует в операционной системе Windows, что обеспечивает использование его в многозадачной среде и широкий обмен данными с другими приложениями.

Интерфейс проблемно-ориентированной ГИС реализован следующим образом. Генеральный блок управления ГИС оснащен инструментами доступа ко всем компонентам пространственной базы данных. Эти инструменты обеспечивают навигацию между компонентами пространственной базы данных на любом этапе и из любого окна или формы. То обстоятельство, что все слои пространственной базы данных геометрически и тематически согласованы, позволяет выполнять их совмещение на любом этапе отображения или анализа. Помимо функций доступа и навигации между компонентами пространственной базы данных генеральный блок управления оснащен функциями их обработки и анализа, которые разделяются на три основные категории согласно трем основным классам пространственной базы данных: функции для обработки и анализа растровых слоев; функции для обработки и анализа векторных слоев; функции для обработки и анализа атрибутивных таблиц растровых и векторных слоев пространственной базы данных

**Группа модулей обработки и анализа растровых слоев пространственной базы данных.**

*Функции модуля для анализа геополей* предназначены для анализа одного или нескольких геополей и основываются на программном обеспечении, разработанном для аналитических подсистем. Функции модуля позволяют выполнить статистическую оценку показателей, статистическую оценку взаимосвязей, выполнить группировку и дифференциацию геополей.

*Функции модуля анализа геополей по зонам* предназначены для анализа одного или нескольких геополей совместно с векторными координатными моделями пространственной базы данных и основываются на программном обеспечении, разработанном для аналитических подсистем. Функции модуля позволяют выполнить статистическую оценку и классификацию показателей геополей по зонам, а также оценку взаимосвязей между географическими объектами и явлениями на основе построения гистограмм.

*Функции модуля «Анализ территорий»* предназначены для анализа растровых моделей пространственной базы данных, которые созданы на основе цифровых моделей рельефа. Функции модуля позволяют получить цифровые модели отмывки рельефа, экспозиции склонов, углов наклона склонов, уклонов, длин уклонов, кривизны поверхности, зон видимости.

*Функции модуля гидрологического анализа территорий* предназначены для анализа растровых моделей пространственной базы данных, которые созданы на основе цифровых моделей рельефа. Функции модуля позволяют получить цифровые модели, характеризующие гидрологические особенности территорий.

**Группа модулей обработки и анализа векторных слоев пространственной базы данных.**

*Модули обработки векторных данных* предназначены для всех классов векторных координатных моделей и включают функции вырезания части векторной модели, трансформирования из одной системы координат в другую, конвертирования в другие модели пространственной базы данных, а также функции экспорта/импорта в наиболее широко используемые обменные файлы.

**Группа аналитических модулей** предназначена для оценки пространственной схемы, структуры и пространственной плотности векторных координатных моделей. Модуль пространственной статистики предназначен для анализа пространственного расположения статистических оценок, основанных на атрибутивных данных векторных координатных моделей. Модуль пространственной классификации основан на стандартных методах классификации, разработанных для геоинформационных технологий, и предназначен для классификации атрибутивных данных векторных координатных моделей и их пространственного отображения. Модуль тематической классификации предназначен для выполнения классификации порядков речных долин и их пространственного отображения.

**Группа модулей обработки и анализа атрибутивных данных пространственной базы данных** позволяет выполнить статистические оценки одного или нескольких полей атрибутивной таблицы, вычислить сумму числовых значений по строкам, отыскать уникальные значения. Функции модуля позволяют исследовать взаимосвязи пространственно совмещенных данных посредством корреляционного, регрессионного анализа и сравнительного анализа параметров распределения статистических выборок.

Остальные функциональные и аналитические компоненты проблемно-ориентированной ГИС представляют самостоятельные модули и блоки, которые могут быть загружены в систему на любом этапе обработки или анализа пространственной базы данных.

**Группа модулей создания буферных зон и пространственного выбора данных** позволяет осуществлять оптимизированный доступ к слоям пространственной базы данных, расширяет функции пространственных запросов и выборок при поддержке принятия управленческих решений. Ключевым инструментом данной группы является модуль динамической буферизации, позволяющий динамически создавать буферные зоны для любых моделей пространственной базы данных, осуществлять пространственные выборки для этих зон и количественные оценки показателей.

**Группа модулей поиска геоизображений, пространственных запросов, создания базы данных геоизображений** предназначена для создания геоизображений, удовлетворяющих условиям пространственных запросов к слоям базы данных. Функции модулей позволяют сохранять полученные геоизображения, таким образом может создаваться база данных геоизображений, отвечающая условиям пространственных запросов, которая может быть эффективно использована при поддержке принятия решений с привлечением экспертных оценок.

**Группа модулей экспорта/импорта данных и динамической связи с другими приложениями Windows** осуществляет динамический обмен данными с другими приложениями Windows для их оптимизированной обработки и углубленного анализа.

**Блок поддержки принятия решений.** Относящиеся к этому блоку модули делятся на несколько групп и основываются на функциях пространственного и сетевого анализа, разработанных для ГИС-технологий. Источником данных для функций этой группы являются растровые и векторные модели простран-

ственной базы данных. Результатом работы функций данного блока являются геополя или графическое представление, которые можно интерпретировать как картографическое отображение ряда пространственных запросов при разработке тех или иных управленческих решений.

**Группа модулей анализа местоположения, соседства, близости, поиска расстояний, зон обслуживания и видимости.** Функциональные возможности данного модуля позволяют выполнить расчет и картографирование расстояний и буферных зон до ближайших источников, пунктов обслуживания или снабжения, рассчитать и выполнить картирование по методу взвешенных расстояний, маршруты наименьшей или оптимальной стоимости. Функции определения видимости позволяют определить участки на местности, с которых будет виден требуемый объект. Функции анализа соседства позволяют в пределах заданной области выполнить расчет основных статистических показателей.

**Группа модулей анализа перемещений, анализа пути, анализа направлений** предназначена для анализа цифровых моделей, имеющих сетевой характер представления, таких, как гидросеть или сеть автодорог. Функциональные возможности этой группы позволяют определить миграцию загрязнений по существующей гидросети или найти оптимальный путь перемещения между населенными пунктами. Функции данной группы снабжены элементами анимации, что повышает эффект отображения результатов сетевого анализа.

**Группа модулей изучения и анализа территорий** использует для анализа ЦМР и позволяет определить водосборные бассейны в пределах изучаемой территории, выявить источники воды, которые могут подвергаться опасности загрязнения, выполнить оценку поверхностного стока для контроля наводнений и подтоплений населенных пунктов и инженерных сооружений.

### **3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ БАЗ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «МОРДОВИЯ» И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

---

База данных региональной геоинформационной системы «Мордовия» развивается как совокупность связанной информации о природно-социально-производственных системах региона, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования, независимая от прикладных программ. База данных является информационной геоэкологической моделью Республики Мордовия. Ее формирование производилось в процессе тематического картографирования локальных и региональных ПСПС при разработке прединвестиционной, градостроительной, предпроектной, проектной документации, организации экологического мониторинга за состоянием геотехнических систем. В данном разделе приводятся основные направления формирования баз данных, иллюстрируемые конкретными примерами геоэкологического анализа локальных и региональных ПСПС.

#### **3.1. Природные условия и ресурсы**

Базы данных, входящие в блок «Природные условия и ресурсы», формируются для оценки природных предпосылок рационального хозяйственного освоения ландшафтов, а именно оптимального размещения геотехнических систем и сохранения (улучшения) окружающей среды. Базы данных несут информацию о пространственно-временном распределении природных условий и ресурсов, структуре и устойчивости ландшафтов. Особое значение при систематизации информации уделяется вопросам выделения геоэкологических ограничений хозяйственного освоения ландшафтов.

База данных «Геология» предназначена для определения геоэкологических ограничений размещения геотехнических систем, определяемых свойствами геологической среды (литогенной основы ландшафтов). Основным объектом изучения является геологическая среда, под которой понимается верхняя часть литосферы и подземной гидросферы, активно взаимодействующая с компонентами ландшафта и находящаяся под влиянием техногенной деятельности. Близкое по смыслу определение имеет литогенная основа ландшафтов – часть земной коры, оказывающая влияние на формирование и дифференциацию природных территориальных комплексов. Наибольшее внимание при формировании баз данных уделяется отражению свойств четвертичных отложений и коренных горных пород, расположенных выше первого регионального водоупорного горизонта, содержащихся в них подземных вод, которые оказывают воздействие на геоэкологические процессы, формирование морфологической структуры ландшафтов, на особенности хозяйственного освоения территории.

Основными электронными картами этой базы данных ГИС «Мордовия» являются карты коренных горных пород, четвертичных отложений, мощности неоген-четвертичных отложений, инженерно-геологических процессов. В совокупности они отражают сложность литогенной основы ландшафтов, закономерностей распространения и мощности стратиграфических и литологических комплексов, пораженность территории экзогенными процессами (эрозионные, карстовые, оползневые, суффозионные и др.). Эта информация традиционно используется при оценке инженерно-геологических условий при проектировании различных типов геотехнических систем. Формирование базы данных осуществляется на основе систематизации фондовых материалов ФГУ «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по Республике Мордовия» и результатов дешифрирования аэро- и космофотоснимков.

База данных «**Рельеф**» используется для определения закономерностей и оценки интенсивности развития экзогенных процессов. Она содержит характеристику генетических, морфологических и морфометрических параметров, а также оценку направленности и интенсивности развития экзогенных геолого-геоморфологических процессов (формирование зон денудации, транзита, аккумуляции потоков вещества и энергии); сведения о формах и генетических типах рельефа, степени расчлененности территории, абсолютных и относительных высотах, уклонах поверхностей, экспозиции склонов. Она формируется по результатам дешифрирования генетических форм рельефа по аэро- и космофотоснимкам, анализа топографических и составления морфометрических карт (рис. 8, 9).

Геоэкологическая устойчивость литогенной основы республики определяется взаимодействием целого комплекса экзогенных геоморфологических процессов: овражная эрозия, карстообразование, суффозия, оползнеобразование, заболачивание, плоскостной смыл, подтопление, заиление водных объектов. По степени устойчивости литогенной основы выделены три группы геосистем.

1. Относительно устойчивые – отсутствуют массовые деформации литогенной основы. Это земельно-древнеосвоенные земли (освоены до середины XIX в.) со слабым развитием деструктивных процессов. К данной группе относятся геосистемы придолинных пространств вторичных моренных и эрозионно-денудационных равнин, геосистем надпойменно-террасовых поверхностей с темно-серыми лесными почвами, черноземами оподзоленными и выщелоченными долинных ландшафтов.

2. Малоустойчивые – существенные деформации литогенной основы вследствие активизации эрозионных, оползневых и других экзогенных геоморфологических процессов. К этой группе относятся ландшафты водно-ледниковых равнин, геосистемы средних склонов ландшафтов вторичных моренных и эрозионно-денудационных равнин, практически все долинные ландшафты.

3. Неустойчивые – крупные и массовые деформации литогенной основы, интенсивное оползне- и оврагообразование, карстовые и суффозионные процес-

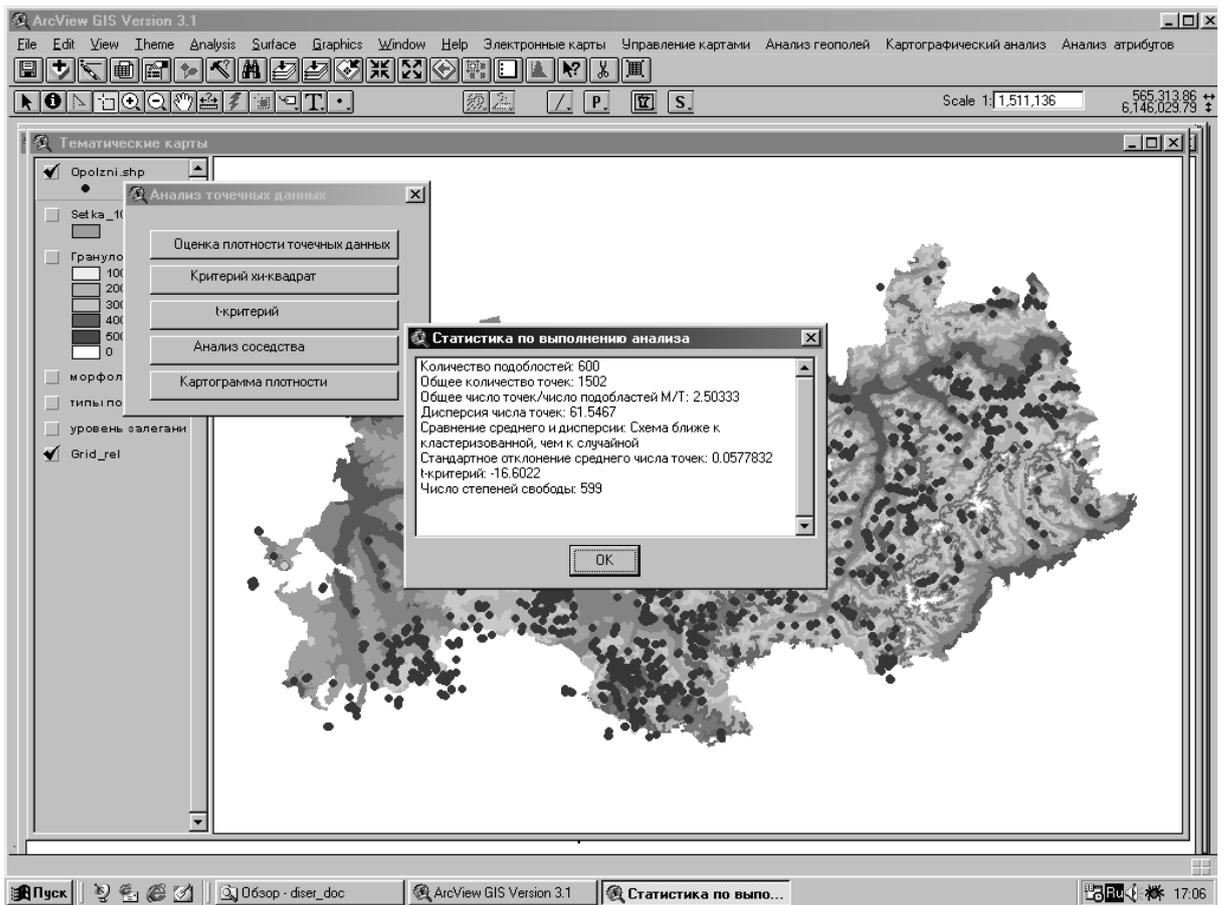


Рис. 8. ГИС «Мордовия»: анализ пространственного положения проявлений оползневых процессов

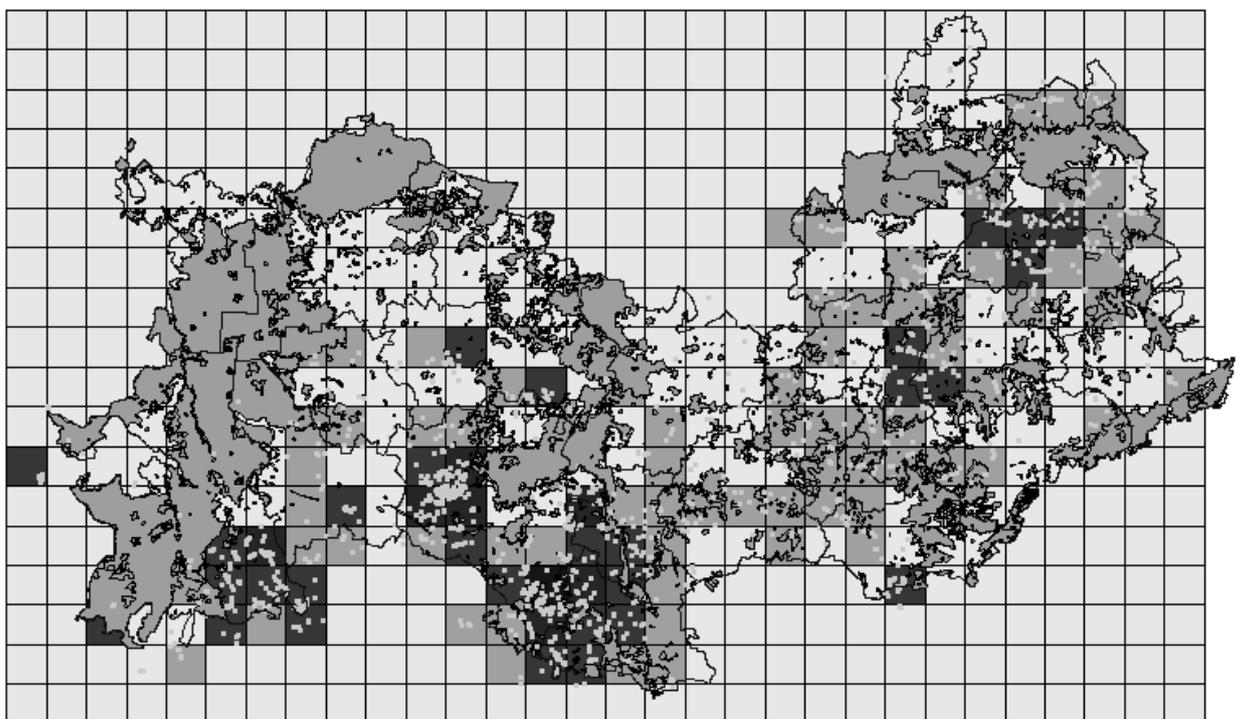


Рис. 9. ГИС «Мордовия»: картограмма плотности распространения оползневых процессов, совмещенная с цифровой моделью лесных массивов

сы, приводящие к необратимым модификациям или деформациям геосистем. Эти ландшафты были вовлечены в сельскохозяйственное освоение с середины прошлого века, дальнейшее их освоение должно быть направлено на расширение лесных массивов и луговых угодий, использование под особо охраняемые природные территории (геосистемы останцово-водораздельных и приводораздельных пространств ландшафтов эрозионно-денудационных равнин, геосистемы приводораздельных пространств ландшафтов вторичных моренных равнин).

Более детальная характеристика устойчивости природных комплексов к развитию деструктивных геоэкологических процессов приведена в работе А. А. Ямашкина [2001] и коллективной монографии «Культурный ландшафт Республики Мордовия» [2003]. Проведенная геоэкологическая оценка устойчивости литогенной основы ландшафтов Мордовии является составной частью общей оценки устойчивости экосистем республики и уже сейчас позволяет судить о различной степени сложности их хозяйственного освоения и о возможности возникновения в них экзогенных геоморфологических процессов.

База данных «**Подземные воды**» предназначена для определения геоэкологических ограничений размещения геотехнических систем, определяемых гидрогеологическими условиями. При создании и развитии базы данных учитываются следующие основные характеристики: водоносность горизонтов подземных вод, их распространение, глубина залегания, химический состав и агрессивность, защищенность вод, интенсивность инфильтрационного поступления загрязняющих веществ в водоносные горизонты, техногенные изменения подземных вод (гидрогеодинамические и гидрогеохимические), влияние изменения подземных вод на структуру и режим функционирования природных территориальных комплексов, на здоровье населения. Основные результаты анализа базы данных изложены в коллективной монографии «Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения» [1999].

При планировании современного хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии наибольшее значение имеет геоэкологический анализ карбонатного каменноугольно-пермского водоносного горизонта, являющегося основным источником для централизованного водоснабжения. На территории Мордовии по гидрогеохимическим показателям выделяются следующие районы.

**Северо-западный район** (Теньгушевский, Темниковский и Ельниковский районы). При неглубоком залегании карбонатных пород на глубинах до 50 – 100 м сформировались подземные воды гидрокарбонатного типа с пестрым катионным составом, которые характеризуются незначительными величинами сухого остатка – от 0,2 до 0,5 г/дм<sup>3</sup> и общей жесткости – от 3,0 до 5,0 моль/м<sup>3</sup>. Содержание гостируемых микрокомпонентов, таких как Cu, Zn, Pb, Mo, Hg, U, Ra, Sr, Fe, не превышает допустимые пределы, содержание F в подземных водах менее 0,7 мг/дм<sup>3</sup>, в основном 0,4 – 0,6 мг/дм<sup>3</sup>.

**Юго-западный район** (Зубово-Полянский, Атюрьевский и часть Торбеевского района). Подземные воды также пресные, величины сухого остатка преимущественно до 0,5 г/дм<sup>3</sup>, участками до 0,8 г/дм<sup>3</sup>, общая жесткость изменяется от 2,6 до 6,9 моль/м<sup>3</sup>, из анионов преобладают гидрокарбонаты, подчиненное

значение имеют сульфаты, из катионов – магний и натрий. Из микрокомпонентов возрастает содержание фторидов до  $1,5 \text{ мг/дм}^3$  и более, а западнее населенных пунктов Зубова Поляна, Потьма, Молочница, Леплей, Явас, Барашево – в зоне сочленения Токмовского свода и Рязано-Саратовского прогиба, больше  $3,0 \text{ мг/дм}^3$ , преимущественно  $4 - 5 \text{ мг/дм}^3$ . В юго-западной части Зубово-Полянского района в широтном направлении от п. Известь до с. Пичпанда прослеживается зона вдоль разлома, характеризующаяся резким изменением химического состава подземных вод. Подземные воды имеют сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный натриевый состав, величина сухого остатка возрастает до  $1,5 - 2,6 \text{ г/дм}^3$ , общая жесткость – до  $12,7 - 17,8 \text{ моль/м}^3$ , содержание фтора изменяется от  $0,4$  до  $6,0 \text{ мг/дм}^3$ .

**Центральный район** (Краснослободский, Старошайговский и части Торбеевского, Атюрьевского, Ковылкинского, Лямбирского и Рузаевского районов). В области транзита подземные воды пресные, гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные со смешанным катионным составом. Катионы Ca, Mg и Na присутствуют в пропорциях более 20 % мг-экв, с преобладанием Mg и Ca. Величины сухого остатка и общей жесткости составляют  $0,5 \text{ г/дм}^3$  и  $5,0 - 6,0 \text{ моль/м}^3$ . Микрокомпоненты присутствуют в подземных водах в допустимых (СанПиН 2.1.4.559–96) пределах, исключение составляет фтор, содержание которого в северных областях не превышает  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ , а в центральных по мере передвижения в восточном направлении возрастает до  $2,0 - 2,8 \text{ мг/дм}^3$ . В тектоническом отношении описанная область располагается в пределах Токмовского свода и является наиболее благоприятной для централизованного водоснабжения республики. Именно к ней приурочены перспективные участки Сивинский и Вертелимский для водоснабжения Саранско-Рузаевского промышленного узла. По мере погружения водовмещающих пород в восточном и юго-восточном направлении, до Инсарской флексуры, прослеживается постепенное изменение химического состава подземных вод карбонатной толщи средне-верхнекаменноугольных отложений. Увеличивается величина сухого остатка до  $1,0 \text{ г/дм}^3$  и общей жесткости до  $10 \text{ моль/м}^3$  за счет привлечения хлоридов, сульфатов, магния и натрия.

В Инсарском и частично в Ковылкинском районах, где водовмещающие породы вскрываются на глубинах более  $100 - 150 \text{ м}$ , по зонам разломов, подземные воды имеют смешанный состав, из анионов присутствуют Cl,  $\text{SO}_4$  и  $\text{HCO}_3$  в пропорциях более 20 % мг-экв в различных комбинациях, а из катионов преобладает Na. Содержание фторидов возрастает и составляет  $1,5 - 3,0 \text{ мг/дм}^3$ , в Инсарском районе участками достигает 7 и  $8 \text{ мг/дм}^3$ .

В Ичалковском и Ромодановском районах, в пределах локальных поднятий Токмовского свода, подземные воды карбонатных отложений пресные, имеют сульфатно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатно-сульфатный анионный состав и в основном смешанный катионный состав с преобладанием кальция. Величина сухого остатка изменяется от  $0,26$  до  $0,85 \text{ г/дм}^3$ , общая жесткость – от  $0,28$  до  $9,5 \text{ моль/м}^3$ . Содержание фторидов в Ичалковском районе до  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ , в Ромодановском преимущественно выше – до  $1,8 - 2,0 \text{ мг/дм}^3$ , железо повсеместно более  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ .

В долине р. Инсар в зоне разломов Инсарской флексуры при сочленении Токмовского свода и Сурского прогиба карбонатные породы испытывают более резкое погружение на юго-востоке и здесь отмечается граница распространения подземных вод с величиной сухого остатка около  $1 \text{ г/дм}^3$ . Подземные воды в данной области характеризуются смешанным составом, в основном присутствует хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный тип вод, катионный состав также смешанный, с преобладанием натрия. Величина сухого остатка возрастает от  $0,6$  до  $1,0 \text{ г/дм}^3$ , общая жесткость – преимущественно  $6,0 - 8,0 \text{ моль/м}^3$ . Содержание фторидов более  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ , железа общего – более  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ . В этой зоне расположен наиболее крупный водозабор Саранского месторождения подземных вод (Саранский городской), производительность которого с семидесятых годов превышает утвержденные ГКЗ СССР эксплуатационные запасы. Крупный сосредоточенный водоотбор вызвал резкое снижение уровня подземных вод эксплуатируемого горизонта и подток слабо- и умеренно солоноватых вод нижележащего водоносного горизонта. В пределах Саранского городского и восточной части Пензятского водозаборов подземные воды имеют пестрый анионный состав, в основном смешанный с преобладанием хлоридов или гидрокарбонатов. Катионный состав однородный, кальциево-магниевый-натриевый с преобладанием натрия. Величина сухого остатка изменяется от  $0,8$  до  $2,53 \text{ г/дм}^3$ , общая жесткость – от  $6,8$  до  $21 \text{ моль/м}^3$ . Значение величины сухого остатка  $0,8 - 1,2 \text{ г/дм}^3$ , общей жесткости –  $8,0 - 10,5 \text{ моль/м}^3$ . Содержание фторидов более  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ , преимущественно  $1,9 - 2,4 \text{ мг/дм}^3$ , железа общего – менее  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  (в пределах СанПиН 2.1.4.559–96). Следует отметить, что на всех централизованных водозаборах Саранского месторождения отмечается процесс загрязнения пресных подземных вод, который на Руднинском, Пензятском, Рузаевском городском и Пишлинском водозаборах проявляется пока в пределах ГОСТа «Вода питьевая» и СанПиНа.

**Восточный район**, расположенный к востоку от Инсарской флексуры. Характеризуется значительным погружением карбонатных пород каменно-угольно-пермского возраста до глубины более  $200 \text{ м}$  (Ульяновско-Саратовский прогиб). Подземные воды описываемого горизонта в Большеигнатовском и Ардатском районах не соответствуют нормам ГОСТа «Вода питьевая» и относятся к категории слабосоленых. На качественный состав вод основное влияние оказывает состав водовмещающих пород, а именно наличие прослоев гипсов и отложения сакмарского яруса, сложенного гипсами, в пограничных районах Нижегородской области. Подземные воды имеют гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный анионный состав (среднее содержание сульфатов  $1321 \text{ мг/дм}^3$ ), катионный состав натриево-кальциевый, магниевый-кальциевый и смешанный, но с преобладанием кальция. Величина сухого остатка изменяется от  $1,32$  до  $2,59 \text{ г/дм}^3$ , наиболее распространенные значения –  $1,85 - 2,16 \text{ г/дм}^3$ . Общая жесткость в связи с большим содержанием кальция в отдельных скважинах достигает  $40,0 \text{ моль/м}^3$ , а в основном колеблется в пределах  $12,0 - 25,0 \text{ моль/м}^3$ . Содержание фторидов, за исключением крайней северной части, более  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ , преимущественно  $1,76 - 2,5 \text{ мг/дм}^3$ , содержание железа общего также выше  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ .

Южнее, в Атяшевском и в северных частях Ромодановского, Чамзинского и Дубенского районов, по мере погружения кровли карбонатных отложений происходит постепенное изменение химического состава подземных вод. Гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные воды сменяются смешанными, содержание хлоридов возрастает, а сульфатов уменьшается, из катионов увеличивается концентрация натрия, подземные воды становятся кальциево-магниевонатриевыми и магниевонатриевыми. Величина сухого остатка изменяется в пределах от 1,0 до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, общая жесткость – менее 10 моль/м<sup>3</sup>, в основном 6,4 – 8,9 моль/м<sup>3</sup>. Содержание фторидов и железа общего превышает допустимые пределы.

**Юго-восточный район** (части Дубенского и Большеберезниковского районов). Подземные воды верхнекаменноугольных отложений имеют или смешанный анионный состав с преобладанием хлоридов, или сульфатно-хлоридный. Из катионов преобладающее значение имеет натрий – это в основном натриевые воды. Величина сухого остатка более 1,5 г/дм<sup>3</sup> (1,6 – 2,05 г/дм<sup>3</sup>), общая жесткость изменяется от 5,4 до 8,0 моль/м<sup>3</sup>, изредка достигая 10 моль/м<sup>3</sup>. Отмечаемое в последние годы ухудшение качества потребляемых вод связано не только с изменением гидрогеохимических условий продуктивной толщи пермско-каменноугольного водоносного горизонта, но и с состоянием водопроводных систем, зон санитарной охраны. Санитарно-химическое исследование подаваемой пользователям воды показало, что требованиям ГОСТ 1874–82 «Вода питьевая» и СанПиН № 214–559–96 не соответствуют в артезианских скважинах 43,3 % проб, в системе коммунального водопровода – 41,4 %, в системе ведомственных водопроводов – 44,2 %. Наиболее часто отмечаются повышенные минерализация и жесткость, высокое содержание фтора, реже железа. Наиболее остро в республике стоит проблема обесфторивания артезианских вод. Содержание этого элемента на 2/3 территории, на которой проживает 70 % населения республики, от 2 до 5 мг/дм<sup>3</sup>.

Во многих регионах России, в том числе в Мордовии, программа региональной стратегии водопользования должна быть принята в качестве базовой основы долгосрочного геоэкологического планирования хозяйственного освоения ландшафтов. Ее основные задачи – выработка экономического механизма стимулирования оборотного водопользования, экономия водных ресурсов, сокращение водоотбора подземных вод и разработка проекта их возобновления.

При разработке базы данных «**Минерально-сырьевые ресурсы Республики Мордовия**» и ее геоэкологическом анализе учитываются: местоположение, вид полезного ископаемого (основного и сопутствующих), год открытия месторождения, его размер по запасам, степень освоения (разрабатываемое, подготовленное к разработке, разведываемое, перспективная площадь), существующая и проектная добыча, перспективы увеличения запасов, соответствие добываемого сырья существующим стандартам, рентабельность, потребители сырья, балансовые запасы полезного ископаемого. Значение разных типов минерально-сырьевых ресурсов для хозяйственного освоения территории неодинаково. Оно во многом зависит от уровня экономического развития общества.

Рассматривая в ходе геоэкологического анализа общие перспективы добычи полезных ископаемых и развития перерабатывающих предприятий, необходимо учитывать опыт освоения небольших месторождений в предшествующие периоды хозяйственного освоения. Так, например, в XIX в. на территории Мордовии активно осваивались месторождения глин для изготовления керамических изделий и – в случае охристых глин – краски, кварцевых песков для получения стекла, карбонатного сырья для производства извести и цемента, черного дуба, фосфоритов и т. д.

Добыча полезных ископаемых ведет к формированию горно-технических ландшафтов. Паспортизация последних необходима для составления программы проведения на выработанных площадях рекультивационных работ.

База данных «**Климат**» содержит результаты многолетних наблюдений метеорологических станций и постов, расположенных на территории Мордовии. Геоэкологический анализ климата должен предваряться характеристикой его динамики в тот или иной исторический период. Оценка современных климатических условий включает районирование территории по благоприятности для различных типов хозяйственного освоения ландшафтов: сельскохозяйственного, селитебного, рекреационного и др.

При геоэкологической экспертизе ландшафтов для размещения геотехнических систем должны учитываться как макроклиматические условия (приток солнечной радиации, процессы циркуляции воздушных масс и др.), так и мезо- и микроклиматические условия, которые могут определяться по характеру подстилающей поверхности – особенностям рельефа, растительного покрова, близости к большим водным поверхностям. При анализе рельефа для выбора конкретных типов хозяйственного освоения ландшафтов список показателей и критерии их дифференциации должны меняться. Наиболее зависимы от климатических условий сельскохозяйственный, рекреационный, гидротехнический, гидромелиоративный типы освоения ландшафтов; менее зависимы горно-технический и промышленный.

В прогнозировании региональных процессов хозяйственного освоения ландшафтов целесообразно учитывать возможное осложнение геоэкологической ситуации в связи с прогнозируемым климатологами существенным изменением климата на рубеже тысячелетий, когда, по их мнению, влажная фаза климата в Евразии сменится на сухую.

Важным направлением развития базы данных о климате является оценка метеорологических процессов для геоэкологического анализа воздушной миграции продуктов техногенеза, определяющих условия загрязнения и потенциал самоочищения атмосферы.

База данных «**Поверхностные воды**» формируется на материалах гидрометрических наблюдений на реках республики и полученных на их основе характеристиках поверхностного стока.

При проектировании плотин, водохранилищ (прудов) необходимо знать величины среднего годового стока, его распределение в различные сезоны и месяцы. Размеры и типы водосбросных сооружений плотин определяются максимальными расходами воды редкой повторяемости, для определения которых

необходимы данные по максимальному стоку. Обеспечение промышленности водой, решение экологических проблем требуют знания величин минимального стока в маловодные годы. Особое значение гидрологическим характеристикам придается при создании проектов мелиоративного строительства, где необходимы исходные данные о среднем многолетнем стоке реки, максимальных объемах и расходах воды половодья и паводков, внутригодовом распределении стока, его значениях в вегетационный период.

В связи с большими объемами дорожного строительства, газификации республики высокие требования предъявляются к качеству проектной документации по автомобильным дорогам, трассам газопроводов, сопутствующим им гидротехническим сооружениям (мостовые переходы, дюкеры, водопропускные сооружения), где требуется определение расчетных характеристик по стоку и уровенному режиму половодья и дождевых паводков каждого пересекаемого трассами постоянного или временного водотока. При архитектурно-планировочных решениях по размещению населенных пунктов, различных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, находящихся в долинах рек, необходимы данные о возможных величинах зон затопления территории половодьями и паводками редкой повторяемости.

Основным нормативным документом по гидрологическим расчетам в настоящее время является свод правил по гидрологическим расчетам СПЗЗ–101–2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». Эти правила распространяются на определение гидрологических характеристик при проектировании речных гидротехнических сооружений, железных и автомобильных дорог, систем мелиорации, водоснабжения, планировки населенных пунктов, а также для разработки мероприятий по борьбе с наводнениями.

Основные результаты оценки ресурсов поверхностных вод изложены в работе «Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения» [1999].

База данных «**Почвы**» включает среднемасштабную электронную почвенную карту, составленную на основе крупномасштабных почвенных карт хозяйств Мордовии, на которой выделены типы, подтипы, роды, виды почв. Почвенная карта занимает важное место в структуре региональной ГИС. Она активно используется при геоэкологическом анализе процессов хозяйственного освоения ландшафтов и экспертизе размещения геотехнических систем. Наибольший акцент при этом делается на агроэкономической оценке, пораженности эрозионными процессами, загрязненности продуктами техногенеза.

Почвенная карта является одним из основных источников информации для составления ландшафтной карты. При ее анализе особое внимание уделяется почвам, которые индицируют особенности проявления зональных и азональных факторов в формировании морфологической структуры ландшафтов. Также ведется поиск «зародышевых» форм развития геоэкологических процессов и выявляются специфические черты геокомпонентов: гидрогеологические условия, геоморфологические процессы, литологический состав четвертичных отложений, геохимические условия аккумуляции продуктов техногенеза и т. п.

В базе данных «**Растительность и животный мир**» выделяются и описываются экологические особенности формирования растительных ассоциаций, их лесохозяйственное, сельскохозяйственное, рекреационное, водохозяйственное и природоохранное значение. Важнейшими показателями, отражающими природно-ресурсный потенциал растительного и животного мира являются видовое разнообразие, число (богатство) различных видов в данном сообществе или в данной области. Процесс хозяйственного освоения ландшафтов сопровождается их обеднением, поэтому при освоении территории необходимо планировать комплекс мероприятий по резервации эталонных ландшафтов. Геоэкологический анализ базы данных о растительном и животном мире целесообразно проводить с учетом ландшафтной дифференциации территории.

При создании региональной ГИС для изучения процессов хозяйственного освоения ландшафтов необходимо особое внимание обратить на формирование базы данных «**Аномальные (катастрофические) явления в ландшафтах**». Под аномальными явлениями подразумеваются такие, которые не вписываются в рамки обычного режима функционирования ландшафта. Классификация аномальных (катастрофических) воздействий может основываться на источниках их происхождения: тектонические процессы в земной коре; атмосферные явления – смерчи, ураганы и сильные ветры, наводнения, засухи, пыльные бури, эрозия почв; геоморфологические – размыв берегов и образование оврагов, плоскостной смыв почв, оползни; гидрогеологические и гидрологические – изменения уровня грунтовых вод и режим поверхностного стока (иссушение и переувлажнение) и т. д.

### **3.2. Электронная общенаучная ландшафтная карта**

Для регионального геоэкологического анализа ПСПС целесообразно использовать среднемасштабные ландшафтные карты (1 : 200 000), а при локальных (детальных) исследованиях геотехнических систем карты «первичных» ландшафтов разрабатываются в крупном масштабе (от 1 : 5 000 до 1 : 50 000). В качестве основных объектов картографирования должны служить урочища и местности. Особенности составления электронной ландшафтной карты Республики Мордовия изложены в работе «Культурный ландшафт Республики Мордовия» [2003].

**Общая схема работ по составлению ландшафтной карты.** Традиционными процедурами при составлении ландшафтной карты являются следующие: 1) выделение по топографическим картам морфогенетических форм рельефа; 2) сопоставительный анализ выделенных форм рельефа с материалами геологических карт, с выделением и характеристикой геолого-геоморфологических комплексов; 3) сопряженный анализ геолого-геоморфологических комплексов и водопроявлений (родники, поверхностные водотоки, болота, оплывины); изучение почвенно-грунтовых условий увлажнения и дренированности геоконплексов; 4) установление закономерностей распространения почвенных разностей; 5) определение характера распространения условно коренных фитоценозов и реконструкция исходных.

Полученная «сетка» границ природных территориальных комплексов редактируется. При этом акцентируется внимание на определении генезиса (генетической сопряженности) природных комплексов и характера их географического соседства. Осуществляется последовательная трансформация аналитической ландшафтной карты в синтетическую. В процессе работы границам природных территориальных комплексов придаются характерные черты контуров, описывающих элементы и формы рельефа, элементы гидрографической сети, типы гидрогеологических структур и т. д. Проводится согласование границ разноуровневых морфологических единиц и сопряженности одноуровневых природных территориальных комплексов.

Процедуры ландшафтного картографирования значительно облегчаются при использовании синтетических источников информации – аэро- и космодетекторных снимков. Их анализ позволяет определить особенности генезиса и эволюции геокомплексов, сопряженности морфологических единиц ландшафта, характер географического соседства природных территориальных комплексов. Так, наиболее общие закономерности ландшафтной дифференциации территории Мордовии выделены по космодетекторным снимкам, выполненным с ресурсного спутника «Ландсат». По совокупности дешифровочных признаков на них хорошо проявляются географическое положение ландшафтов Мордовии в общей структуре ландшафтной дифференциации северо-западных склонов Приволжской возвышенности и краевой части Окско-Донской низменности, а также склоновая мезозональность природных территориальных комплексов (местностей и урочищ) от приводораздельных пространств к долинам средних и малых рек.

При крупномасштабном ландшафтном картографировании в качестве важнейших объектов дешифрирования выступают элементы гидрографической сети: тальвеги, ложбины стока, днища лоцин, водосборные воронки, реки, ручьи, водосборные поверхности, западины, болота и заболоченные участки. Анализ элементов системы гидрографической сети позволяет выявить латеральные сопряжения и средообразующую роль природных территориальных комплексов; уточнить границы урочищ и местностей. В выделенных геокомплексах определяются особенности строения литогенной основы; генезис и морфология отдельных мезоформ рельефа; генетические варианты почв и их механический состав; восстановленный растительный покров; хозяйственное использование. Таким образом, картографический образ территориальной дифференциации и легенда ландшафтной карты позволяют получить информацию о покомпонентном строении как геокомпонентов (генезис, форма рельефа, литология, тип и подтип почвы, растительность), так и соподчиненных морфологических единиц ландшафта – урочищ и местностей.

Определенную специфику имеет составление фрагментов ландшафтной карты, где геокомплексы находятся в условиях активного техногенного воздействия, например на городских территориях. В этом случае полный анализ природных комплексов для составления ландшафтной карты проводится в прилегающей к городу зоне, а на городской территории устанавливается лишь структура литогенной основы ландшафтов. Завершающим звеном картографирования является экстраполяция полученных данных о взаимосвязях между

природными компонентами в пригородной зоне на типы литогенной основы ландшафтов города.

**Классификаторы отдельных компонентов природных территориальных комплексов.** При построении ландшафтной карты Мордовии в выделах природных территориальных комплексов определяются следующие показатели: особенности строения их литогенной основы; генетические варианты почв и их сочетания с характеристикой механического состава почв; восстановленный растительный покров; особенности хозяйственного освоения и использования.

**Электронная общенаучная ландшафтная карта как центральное звено в региональной ГИС для геоэкологического анализа и ландшафтного планирования.** Ландшафтная карта представляет собой научную модель земной поверхности, отображающую генезис, развитие, функционирование, размещение и пространственное соотношение природных и природно-производственных комплексов. Многолетний опыт составления ландшафтных карт для оценки геоэкологических ситуаций и планирования культурных ландшафтов показывает, что помимо морфологической структуры ландшафтов и характеристик свойств природных территориальных комплексов на них необходимо отображать следующее: 1) техногенные комплексы и объекты, оказывающие воздействие на природные территориальные комплексы; 2) характер техногенных воздействий геотехнических систем на природные территориальные комплексы; 3) изменение природных территориальных комплексов под воздействием техногенных факторов; 4) рекомендации по оптимизации природопользования и формированию культурного ландшафта (рис. 10).

Стремление охватить многообразие свойств современных антропогенных ландшафтов делает эти картографические произведения перегруженными и трудночитаемыми. Поэтому вся перечисленная выше информация отражается, как правило, на отдельных картах, что затрудняет комплексный анализ развития геоэкологических ситуаций. Перспективным направлением исследований является разработка электронных ландшафтных карт (ЭЛК), которые должны позволить: неограниченно развивать количество тематических слоев и содержание легенд; производить сопряженный анализ природных и производственных элементов; моделировать развитие геоэкологических ситуаций; разрабатывать комплексы мероприятий по оптимизации функционирования культурных ландшафтов.

Электронные ландшафтные карты призваны вобрать в себя достоинства аналитических и синтетических традиционных ландшафтных карт и стать центральными ядрами в региональных геоинформационных системах (ГИС). Они должны обеспечивать обобщение разноуровневой информации, выработку нестандартных научных концепций, обоснование решений по природопользованию. Таким образом, ЭЛК значительно превосходит традиционную ландшафтную карту по информативности и одновременно вбирает в себя лучшие свойства аналитического и синтетического ландшафтного картографирования.

**Основные режимы работы с электронной картой Мордовии.** Для более эффективного геоэкологического анализа электронная общенаучная ландшафтная карта была интегрирована с дополнительными базами данных ГИС

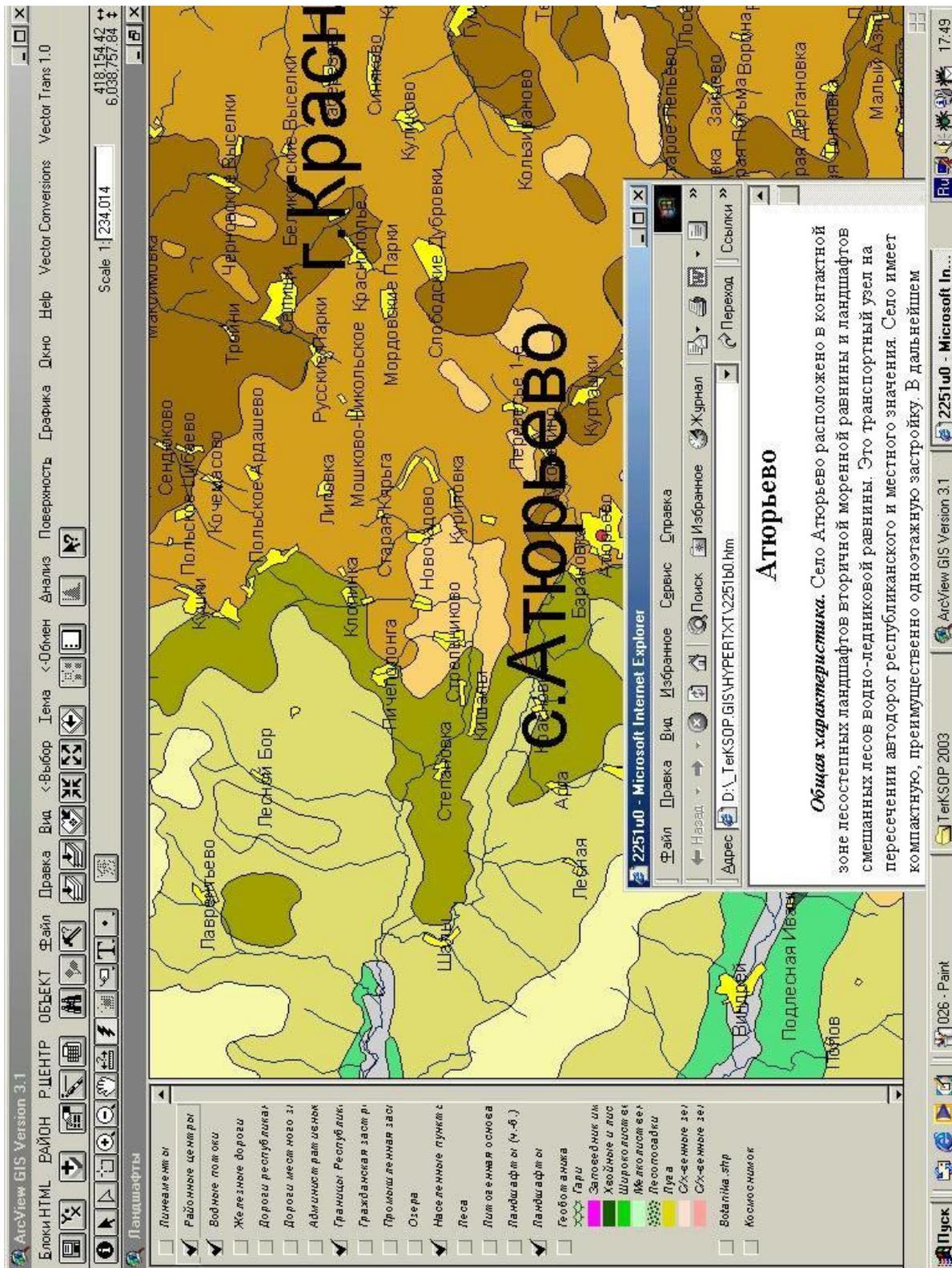


Рис. 10. Пример работы с электронной ландшафтной картой Республики Мордовия

«Мордовия». Программные модули, поддерживающие электронную ландшафтную карту, обеспечивают послойный вывод на экран дисплея карты или ее фрагментов в соответствующем масштабе, редактирование карты, вычисление отмеченных длин и площадей, вывод на карту информации из подключаемых баз данных, получение сведений по отдельным точкам из подключенной базы данных, статистическую обработку информации по группе точек, попадающих на отмеченную площадь, связь видов графической заливки с набором легенд, лексический поиск по подключенным базам данных и файлам легенд.

### 3.3. Культурные ландшафты

Базы данных, входящие в блок «Культурные ландшафты», предназначены для геоэкологического и культурологического анализа истории хозяйственного освоения ландшафтов и оценки природного и исторического наследия. Они содержат археологические, топонимические, этнографические, исторические материалы, которые систематизируются по характерным временным «срезам» – этапам, периодам и стадиям хозяйственного освоения территории и ландшафтам. По результатам сопоставления формулируются выводы об особенностях пространственно-временной организации развития процессов хозяйственного освоения ландшафтов, эволюции и динамике природных комплексов, развитии геоэкологических ситуаций [Ямашкин, 2001].

При формировании базы данных используются методики историко-географических исследований, разработанные А. В. Гедыминым, В. С. Давыдчуком, В. С. Жекулиным, М. Н. Куницей, Ф. Н. Мильковым, А. М. Семеновой-Тян-Шанской, П. Н. Третьяковым, А. С. Фатьяновым, А. Г. Харитонычевым, М. А. Цветковой и др. Историко-ландшафтный подход позволяет полнее раскрыть метакронный характер развития процессов освоения ландшафтов, выявить его географические типы, длительность антропогенного воздействия на природные комплексы, определить направленность развития проблемных геоэкологических ситуаций. Благодаря этому можно более объективно подойти к вопросам географического прогнозирования и нормирования нагрузок на ландшафты.

В региональном анализе первых периодов хозяйственного освоения ландшафтов обычно используются *археологические материалы*, которые важны для изучения длившегося тысячелетия древнейшего периода истории человечества – первобытного общества. В качестве основных источников информации для формирования баз данных по особенностям древнейшего расселения мордвы использовались работы П. Д. Степанова, М. Ф. Жиганова, В. Н. Шитова, а также рукописная археологическая карта, составленная И. М. Петербургским и В. Н. Шитовым.

В качестве дополнительных баз данных при восстановлении общих черт хозяйственного освоения ландшафтов ранних периодов используются *топонимические материалы*. Методологические вопросы их использования в историко-географических реконструкциях раскрываются в работах Э. М. Мурзаева, В. С. Жекулина и др. Значительный вклад в изучение топонимического матери-

ала по территории Мордовии внесли П. И. Мельников, А. А. Гераклитов, А. А. Хвощев, И. Д. Воронин, В. А. Никонов, И. К. Инжеватов, Н. Ф. Мокшин, Д. В. Цыганкин, М. В. Мосин и др. При использовании топонимического материала в реконструкции процессов хозяйственного освоения территории целесообразна его систематизация с учетом ландшафтных особенностей местности. При этом выделяются: гидронимы, относящиеся к природным и искусственным водным объектам (река, озеро, болото, водохранилище, пруд); оронимы, относящиеся к формам рельефа (гора, возвышенность и пр.); фитотопонимы и зоотопонимы, относящиеся к растениям и животным. Среди топонимов, связанных с процессами хозяйственного освоения территории, выделяются следующие: религиозного и культового происхождения; антропонимы, образованные от личных женских и мужских имен, фамилий, прозвищ (при этом наибольший интерес для Мордовии представляют дохристианские мордовские имена); этнонимы, отражающие названия народов; обусловленные историческими переселениями; указывающие на время возникновения (или наименование) объекта; характеризующие социально-экономические явления; содержащие названия ремесел и промыслов, предметов быта; отмечающие размер объекта.

Количество информации об особенностях хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии существенно возрастает с появлением *письменных источников*. Результатами изучения писцовых книг в аспекте хозяйственного освоения ландшафтов являются датировки возникновения населенных пунктов, определение длительности использования геокомплексов в земледелии, характеристика систем земледелия и промыслов.

Не менее важны при геоэкологическом анализе процессов хозяйственного освоения ландшафтов базы данных *рукописных карт*. Исследование их точности и использования при решении географических проблем было проведено в работах А. С. Козьменко, М. А. Цветкова, А. М. Семеновой-Тян-Шанской, М. М. Тихомировой, А. С. Фатьянова, А. В. Гедымина, В. С. Жекулина, А. В. Постникова и др. В результате осуществления региональных работ с использованием рукописных карт получен обширный фактический материал по компонентного изменения природы – развития эрозионных и почвообразовательных процессов, изменения лесопокрытости, распаханности, обводненности.

Значительные фактические данные о процессах хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии содержатся в рукописных картах Генерального межевания земель (конец XVIII – начало XIX в.) и материалах военно-топографической съемки (середина XIX в.). Практика показала, что прямое использование архивных рукописных карт в исследовании изменений ландшафтов сопряжено с различными трудностями. Прежде всего это связано с масштабом карт и региональным охватом отдельных планшетов, созданных по отдельным административным единицам, существенно изменившимся к настоящему времени. В связи с этим возникает необходимость приведения рукописных карт к современной топографической основе.

Карты Генерального межевания земель представлены планами (100 сажень в дюйме, или 1 : 8 400) и картами (1 – 4 версты в дюйме, или 1 : 42 000 – 1 : 168 000). Для территории Мордовии они отражают состояние природополь-

зования в период с 1780 по 1830 г. Важным источником информации для исследования освоенческих процессов являются также «Экономические примечания к Генеральному межеванию земель», в которых содержатся данные о населении, хозяйстве, состоянии угодий и природных объектов (лесов, рек, озер и др.) по населенным пунктам, дачам, уездам и т. п.

Военно-топографические работы на территории Мордовии в середине XIX в. проводились в масштабах 1 – 8 верст в дюйме (1 : 42 000 – 1 : 336 000). Карты сопровождалась военно-топографическими описаниями, имевшими целью определение степени проходимости территории войсками. В отдельных случаях представлены сведения о временной динамике болот (высыхании и промерзании). Даже самое общее ознакомление с военно-топографическими картами более мелкого масштаба, составленными на основе одноверстовок, позволяет выявить многочисленные неточности, причем в ходе генерализации «выпала» важная для ландшафтоведов информация.

Процессы хозяйственного освоения ландшафтов в конце XIX – начале XX в. отражаются также в статистических данных, фондовых материалах различных ведомств и министерств.

При региональном исследовании культурных ландшафтов целесообразно использовать следующую систему таксонов: ареал культуры – локальный исторический подтип культуры, включающий субэтнические региональные комплексы культур; культурный ландшафт – регион (район), в котором особенности природного ландшафта сочетаются с определенным варьированием выделяемых локальных (местных) общностей культуры; природно-исторические системы культуры; культурно-географическая местность – своеобразие хозяйственного освоения природного ландшафта; «местные» варианты исследуемых явлений в культурном ландшафте, отражающие специфику этнической (субэтнической) культуры, безотносительно к количеству выделяемых признаков; природно-исторические подсистемы культуры; локальный природно-исторический комплекс – индивидуальные (своеобразные) культурно-исторические элементы систем (природные и исторические памятники).

В многослойной системе культурного ландшафта выделяются следующие подсистемы: средо- и ресурсовоспроизводящие свойства вмещающего природного ландшафта; традиции регионального природопользования, выразившиеся в реализации определенной структуры землепользования; археологические и исторические памятники как носители информации о материальной и духовной культуре ранних этапов хозяйственного освоения ландшафтов; ландшафтные образы и символы, формирующиеся как результат органического взаимодействия природы и многогранной деятельности человека; мифологический слой, раскрывающийся множеством персонажей, пришедших в него из сказок, верований, воспоминаний, литературы; культурные традиции, регулирующие взаимоотношения человека с окружающей средой; топонимика, структурирующая пространство в сознании личности; инновационные элементы, отражающие внедрение в современный культурный ландшафт качественно новых объектов, технологий, традиций.

### 3.4. Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных систем

Основой формирования базы данных «Геохимия» являются полевые эколого-геохимические исследования. При региональных исследованиях они проводятся по маршрутам и ключевым участкам, а при крупномасштабных работах – методом геометрической сетки, когда точки закладывают в вершинах геометрических фигур с образованием сплошной сети, а вокруг стационарных источников загрязнения – по румбам.

Местоположение, направление и протяженность маршрутов выбираются по ландшафтной карте с таким расчетом, чтобы они позволяли наиболее полно охарактеризовать ландшафтно-геохимическую структуру изучаемой территории. Густота расположения маршрутов и точек опробования зависит от масштаба исследований, характера ландшафтной дифференциации территории, расположения техногенных источников загрязнения и т. д. По мере приближения к источникам антропогенного воздействия частота опробования различных природных сред увеличивается, а расстояние между точками отбора проб сокращается.

Ключевые участки располагаются как на фоновых территориях (наименее подверженных антропогенному воздействию), так и в антропогенных ландшафтах. В первом случае изучается природная (фоновая) геохимическая структура ландшафтно-геохимических катен, во втором – влияние антропогенных факторов на радиальную и латеральную структуру ландшафтов.

Место расположения ключевых участков зависит от многих факторов, главными из которых являются: наиболее полное (типичное) соответствие структуре изучаемой ландшафтно-геохимической катены и степень подверженности территории техногенному воздействию. Для получения фоновых характеристик степень антропогенного воздействия на ключевом участке должна быть минимальной. Расположение ключевых участков в ландшафтах Республики Мордовия показано в табл. 12 и рис. 11.

Таблица 12

Распределение ключевых участков в ландшафтах Мордовии

Номер ключевого участка	Номера шурфов	ПТК	Категория участка
1	25 – 27	Водно-ледниковая равнина	Фоновый
2	30 – 33	Эрозионно-денудационная равнина	Фоновый
3	11 – 15	Вторичная моренная равнина	Фоновый
4	40 – 43	Вторичная моренная равнина	Фоновый
5	1 – 10	Вторичная моренная равнина	Антропогенный
6	16 – 21	Водно-ледниковая равнина	Фоновый
7	22 – 24	Вторичная моренная равнина	Антропогенный

**Ошибка!**

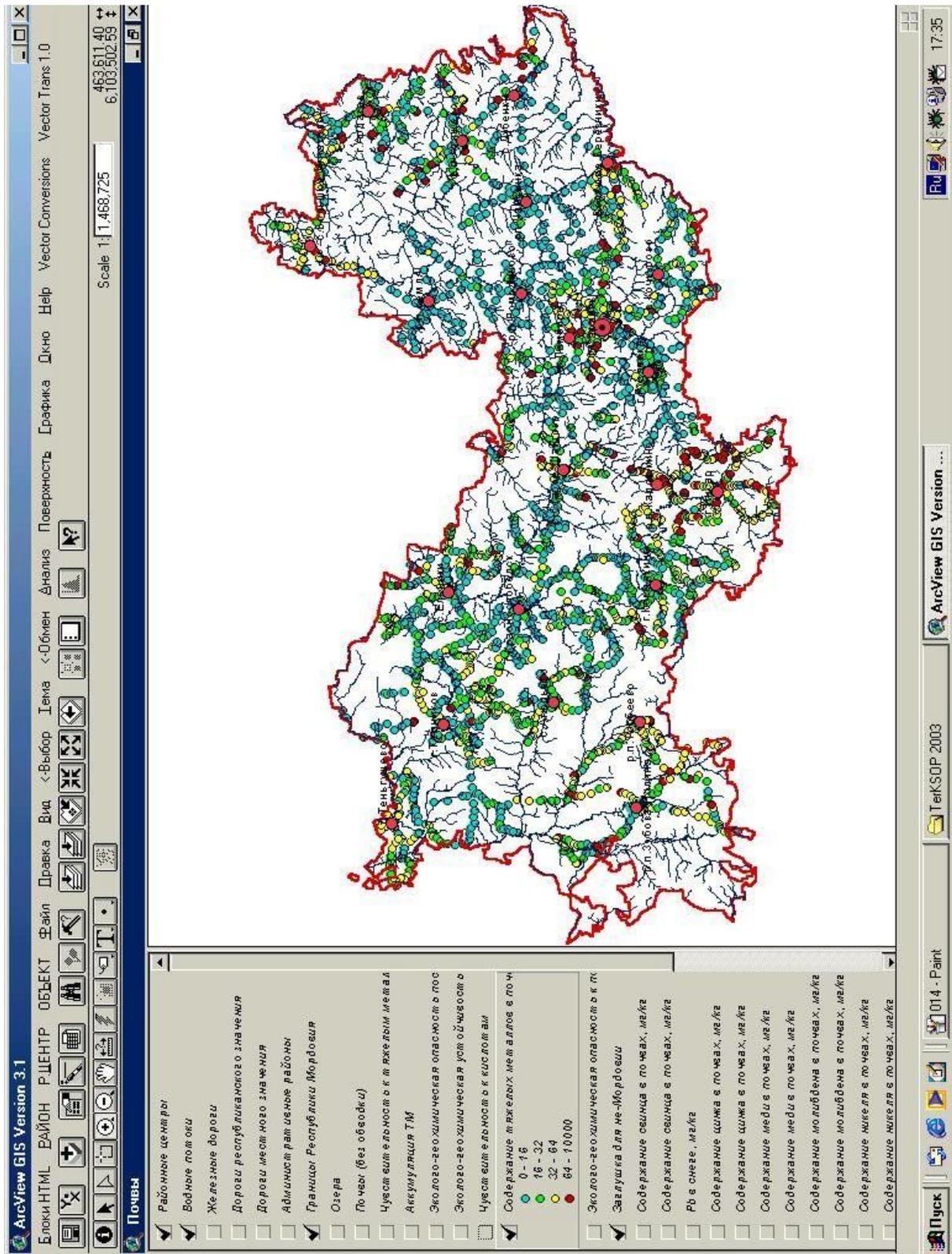


Рис. 1.1. ГИС «Мордовия»: точки отбора проб почв

Использование точек отбора по геометрической сетке применяется при возможности массового сбора и аналитической обработки данных и удобно для автоматического процесса картографирования. Точки отбора могут быть использованы как центры многоугольников геометрической сетки территории или при применении метода изолиний не иметь площадного выражения. Недостатком этого метода является зависимость от случайных значений показателей, полученных в нетипичных точках отбора.

При контроле за загрязнением ПСПС промышленными источниками площадки для отбора проб располагаются на площади трехкратной величины санитарно-защитной зоны вдоль векторов розы ветров на расстоянии 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000 м и более от источника загрязнения [ГОСТ 17.4.4.02–84].

Эколого-геохимическое опробование проводится с целью получения достоверных данных о составе и особенностях распределения различных химических элементов и выявления источников загрязнения. Загрязняющие вещества поступают преимущественно в верхние горизонты почв. Поэтому при исследованиях почвенного покрова в лесах, на лугах, пастбищах и в антропогенных ландшафтах образцы отбираются из верхнего наиболее информативного горизонта почв – 0 – 10 см, а на пашне – на всю глубину пахотного слоя (0 – 20 см) [Сает и др., 1990; Методические рекомендации..., 1987].

Смешанная проба в природных ландшафтах составляется из 4 – 5 точечных проб, отобранных методом «конверта», а в очагах загрязнения – из 12 – 15 частных проб. Это позволяет охарактеризовать участок размером 10 на 10 м с ошибкой до 20 %, а антропогенный ореол – до 30 % [Сает и др., 1990].

Изучение радиальной и латеральной дифференциации на ключевых участках проводится по геохимическому профилю, расположенному от местного водораздела к базису эрозии. Количество почвенных шурфов на профиле зависит от латеральной структуры ландшафта. В пределах различных элементарных ландшафтов закладывается по одному почвенному шурфу. Глубина шурфов определяется глубиной залегания почвообразующих пород и уровнем грунтовых вод, а на участках техногенного загрязнения шурфы закладываются на всю глубину зоны загрязнения. Образцы почв отбираются из каждого генетического горизонта, но не более чем через 1 м.

С целью изучения миграции химических элементов в субаквальных ландшафтах проводится опробование донных отложений и водных потоков. В связи с неоднородностью донных отложений каждая единичная проба составляется из 3 – 5 частных проб, отбираемых вблизи заданной точки опробования. На крупных водотоках пробы донных отложений отбираются у уреза воды из однородного илистого материала в местах видимой его аккумуляции, по разным берегам рек. На небольших и неглубоких водотоках, русло которых сложено однородным материалом, осредненная проба отбирается по поперечному профилю. В случае распространения техногенных илов значительной мощности отбор донных проб проводится по створам с отбором вертикальных колонок на максимальную мощность илов [Сает и др., 1990].

Наиболее информативной средой, характеризующей современный уровень состояния атмосферного воздуха, является снежный покров. Обследование загрязнения снега проводится в конце зимнего сезона, чтобы учесть существующую техногенную нагрузку за максимальный отрезок времени. Пробы отбираются из шурфов на всю мощность снегового покрова, за исключением близпочвенного слоя (2 – 3 см). Масса снеговой пробы должна составлять 5 – 7 кг, что позволяет получить массу выпавшей пыли, достаточную для проведения анализа на содержание металлов [Методические рекомендации..., 1987]. В полевом журнале обязательно фиксируется дата отбора пробы, площадь шурфа, глубина снежного покрова и масса отобранной пробы снега.

Для изучения общего химического состава ландшафтных вод и его изменения в результате техногенного воздействия отбирают пробы из поверхностных водотоков, родников, скважин и колодцев. Отбор подземных вод производится после прокачки скважин и колодцев.

Виды и количество проб, отобранных при изучении природных и техногенных ландшафтов Мордовии, приведены в табл. 13.

Таблица 13

**Количество проб, отобранных при полевом обследовании**

Депонирующая среда	Количество проб					
	всего	природные ландшафты			Техногенные ландшафты	
		всего	леса	с.-х. земли	всего	Саранск
Почвы	5 368	1 826	253	1 573	3 542	2 369
Донные отложения	152	129	18	111	23	8
Снежный покров	1 658	701	47	654	957	347
Поверхностные воды	22	10	3	7	12	12
Подземные воды	51	8	–	8	43	43

С целью определения валового содержания широкого комплекса химических элементов в пробах почв, донных отложениях, живых организмах и в пыли, накопленной снегом, широко используется спектральный метод; кадмия, мышьяка, фтора и подвижных форм металлов в почвах – методом атомно-абсорбционной спектроскопии из почвенных вытяжек; содержания физической глины – по методу Качинского [Практикум..., 1986]; органического вещества – методом Тюрина в модификации ЦИНАО [ГОСТ 26213–91]; рН – по методу ЦИНАО [ГОСТ 26483–85]; суммы поглощенных оснований – по ГОСТ 27821–88; гидролитической кислотности – по методу Капенна в модификации ЦИНАО [ГОСТ 26212–91].

Изучение проб снега предусматривает отдельный анализ снеговой воды, полученной при его оттаивании, и пыли, накопленной снежным покровом. Для водного фильтрата снега, поверхностных и подземных вод проводится определение кислотности (рН) и содержания основных ионов (кальция, магния, гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, суммы ионов калия и натрия) и других химических веществ.

Методы, виды и количество лабораторных работ, выполненных при эколого-геохимических исследованиях ландшафтов Мордовии, приведены в табл. 14.

Таблица 14

**Методы, виды и количество лабораторных исследований**

Депонирующие среды		Методы и виды лабораторных анализов	Количество определений
Почвогрунты		Спектральный	5 338
		Физическая глина, органическое вещество, сумма поглощенных оснований, рН, гидролитическая кислотность	183
		Подвижные формы Cd, Pb, Cu, Mn – ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8	150
Донные отложения		Спектральный	152
Снежный покров	Пыль, накопленная снегом	Спектральный	1 658
		Масса	1 022
	Растворимая фракция	рН	985
		Минерализация, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^{+}+K^{+}$ , $SO_4^{2-}$ , $HCO_3^{-}$ , $Cl^{-}$	188
Поверхностные воды		Минерализация, рН, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^{+}+K^{+}$ , $SO_4^{2-}$ , $HCO_3^{-}$ , $Cl^{-}$	22
Подземные воды		Минерализация, рН, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^{+}+K^{+}$ , $NH_4^{+}$ , $SO_4^{2-}$ , $HCO_3^{-}$ , $Cl^{-}$ , $NO_3^{-}$ , окисляемость	51
		Фториды	12

По каждому из определяемых показателей в ГИС «Мордовия» сформированы компьютерные базы данных. Их использование позволяет оперативно составлять:

- моноэлементные карты распределения химических элементов в почвах и в пыли, накопленной снегом (рис. 12);
- полиэлементные карты по суммарному показателю загрязнения почв и снежного покрова, по суммарному показателю нагрузки;
- графики радиальной и латеральной дифференциации химических элементов в различных типах почв и ландшафтно-геохимических катенах;
- карты распределения пылевой нагрузки;
- комплексные карты динамики загрязнения ландшафтов;
- карты геохимической устойчивости почв к различным техногенным воздействиям (поступлению малоподвижных тяжелых металлов, умеренно подвижных анионов и кислотному загрязнению);
- рассчитывать содержание химических элементов в донных отложениях, почвенном и снежном покровах на конкретных участках.

Математико-статистическая обработка тематических баз данных дает возможность устанавливать корреляционные и функциональные связи между распределением тяжелых металлов в различных компонентах ПСПС.

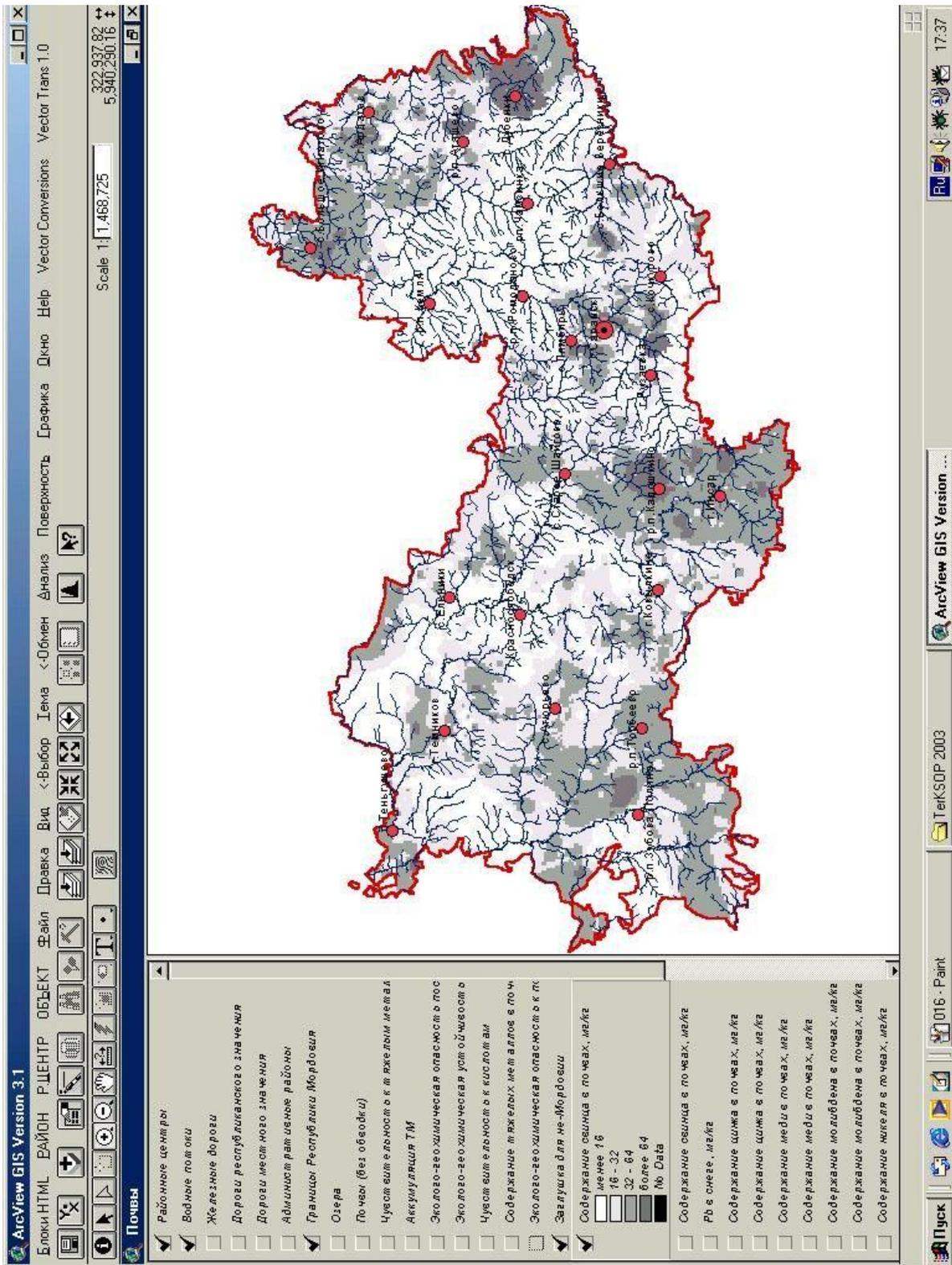


Рис. 12. ГИС «Мордовия»: пример электронной моноэлементной карты (содержание свинца в почвах)

### 3.5. Природно-социально-производственные системы

Базы данных «Природно-социально-производственные системы» раскрывают развитие современных процессов хозяйственного освоения ландшафтов. В геоэкологический анализ вовлекаются следующие отраслевые базы данных:

- население – географическое размещение, рождаемость, смертность, миграции, возрастно-половая структура; этнографические карты (национального состава, национальной культуры);
- промышленность – история и современное географическое размещение, характеристика мощности или значения промышленных центров (с точки зрения геоэкологического анализа эти карты, равно как и используемые при их создании базы данных, важны тем, что они показывают размещение основных источников загрязнения окружающей среды);
- размещение сельскохозяйственного производства, его эволюция в плане расширения (сокращения) сельскохозяйственных угодий различных типов, интенсивность ведения сельского хозяйства и перспективы его специализации;
- территориальное размещение путей сообщения (железных дорог, автодорожной сети, линий воздушного транспорта с характеристикой их значения, грузопотоков и т. д.), а также нефте- и газопроводов;
- состояние и тенденции изменения медико-демографической ситуации.

Важнейшими задачами геоэкологического анализа современных тенденций хозяйственного освоения ландшафтов являются оценка антропогенного воздействия на окружающую среду, прогнозирование развития процессов хозяйственного освоения ландшафтов и геоэкологических ситуаций. В связи с этим в ГИС «Мордовия» создана интегральная база данных ПСПС, в которой содержится комплексная характеристика селитебных, сельскохозяйственных, лесохозяйственных, промышленных, транспортных, гидротехнических, горно-технических и рекреационных систем. Общая структура базы данных включает определение объекта, характеристику влияния на ландшафт, оценку интенсивности воздействия на природные комплексы, перечень необходимых мероприятий по стабилизации и предотвращению деструктивных процессов и место их проведения. В то же время описание отдельных типов геотехнических систем имеет свою специфику, определяемую ролью в формировании культурных ландшафтов.

#### 3.5.1. Селитебные природно-социально-производственные системы

Селитебные природно-социально-производственные системы являются стержневыми в процессе формирования культурных ландшафтов. Это проявляется в возникновении населенных пунктов, формировании систем расселения и их развитии. Расселение как комплексный показатель хозяйственной освоенности районов и тип воздействия общества на ландшафты рассматривается как в

экономико-географических, так и в ландшафтных и экологических исследованиях. Два последних направления развиваются интегрированно и получили развитие в работах Л. И. Воропай и М. Н. Куницы, С. Н. Глазычева, А. В. Дончевой, Ф. Н. Милькова, К. Г. Раммана и В. В. Штейнса, Ф. В. Тарасова, М. А. Глазовской и др.

При формировании баз данных селитебных геотехнических систем учитывается, что их функционирование и геоэкологическое состояние в культурном ландшафте находится под значительным влиянием промышленных, транспортных, горно-технических, сельскохозяйственных, гидротехнических и рекреационных геотехнических систем. Геоэкологические противоречия в силу этого имеют обостренный характер. Обеспечение устойчивого, экологически безопасного функционирования населенных пунктов выступает в качестве приоритетной задачи современного хозяйственного освоения ландшафтов. Наиболее значимыми геоэкологическими проблемами современных городов выступают активизация геолого-геоморфологических процессов, загрязнение окружающей среды продуктами техногенеза, истощение ресурсов питьевых вод. Основными же показателями, отражающими геоэкологическое состояние селитебных ГТС, являются качество жизни и здоровье населения.

Основная направленность работы по геоэкологическому обследованию селитебных природно-социально-производственных систем – выработка рекомендаций по улучшению состояния окружающей среды, проведению мероприятий по охране и рациональному использованию природных ресурсов, поддержанию экосистем в состоянии, близком к естественному функционированию [Геоэкология населенных пунктов..., 2001]. Вопросы геоэкологического анализа и ландшафтного планирования изложены в коллективной монографии «Культурный ландшафт города Саранска» [2002]. В качестве примера приведем результаты комплексного геоэкологического обследования г. Краснослободск, которое включало следующие работы:

- сбор, аккумуляция и оценка информации о состоянии атмосферного воздуха, почво-грунтов, поверхностных и подземных вод, радиоэкологической обстановки района;
- анализ данных о вещественном составе и объемах выбросов, сбросов и складировании твердых отходов промышленного, сельскохозяйственного и бытового происхождения;
- анализ использования минерально-сырьевых ресурсов, запасов подземных вод, ресурсов земель, растительного и животного мира;
- оценку состояния существующих и выявление новых природных территорий и объектов, требующих сохранения как эталонных;
- выявление взаимосвязей между заболеваемостью населения и состоянием окружающей среды;
- районирование территории по вариантам ведения экологически сбалансированной хозяйственной деятельности.

Город Краснослободск имеет координаты  $54^{\circ} 24'$  с. ш. и  $43^{\circ} 50'$  в. д. Он расположен на левом коренном склоне долины реки Мокши. Городская терри-

тория изрезана глубокими оврагами с эрозионными и оползневыми склонами. Территория входит в пояс умеренного климата с хорошо выраженной сменой сезонов года. В структуре почвенного покрова преобладают черноземные и серые лесные почвы.

Краснослободск – районный центр, расположен в 105 км от Саранска и в 52 км от железнодорожной станции Ковылкино. Это автодорожный узел республиканского значения. Связь с Саранском осуществляется по автодороге республиканского значения Саранск – Краснослободск – Новые Выселки.

Геоэкологическая оценка территории для градостроительного освоения, инженерного оборудования и прогнозирования природоохранных мероприятий основывается на изучении инженерно-геологических условий, особенностей развития геолого-геоморфологических, гидрогеологических процессов, ландшафтно-индикационном дешифрировании аэроснимков с привлечением фондовых материалов и полевом исследовании геокомплексов.

На территории Краснослободска и пригородной зоны выделены следующие типы геокомплексов: лесостепи вторичной моренной равнины, смешанные леса водно-ледниковой равнины и долинные (пойменные и террасовые).

Природные комплексы лесостепей вторичной моренной равнины приурочены к наиболее приподнятым участкам коренных пород левобережья Мокши. Четвертичные отложения представлены валунно-суглинистыми образованиями днепровского оледенения, которые перекрываются небольшим по мощности (1,5 – 2,0 м) чехлом покровных суглинков, красновато-коричневых, плотных, твердой и полутвердой консистенции, с включением прослоев песка мощностью 2 – 10 см, гальки и валунов кристаллических пород. Моренные суглинки по числу пластичности (0,14) относятся к тяжелым, имеют высокую объемную массу скелета грунта (1,74 г/см<sup>3</sup>) и сравнительно небольшое значение коэффициента пористости (0,56), характеризуются следующими несущими способностями: сцепление – 0,35 МПа, угол внутреннего трения – 20°, модуль деформации – 1,64 МПа. Это надежное основание при строительстве зданий и сооружений.

Ледниковые суглинки обладают низкими фильтрационными свойствами (коэффициент их фильтрации – 0,01, глины – 0,12 – 0,036, несколько больше эта величина у покровных суглинков – 0,1 – 2,8). Моренные отложения часто безводны. На участках распространения подморенных флювиогляциальных отложений часто наблюдаются «верховодки» и выходы на дневную поверхность грунтовых вод, с чем связаны активные оползневые и эрозионные процессы. Воды гидрокарбонатные кальциевые, пресные, с минерализацией до 1 г/л. Агрессивность грунтовых вод по отношению к бетону в этом районе не отмечена.

Глубина эрозионного вреза на исследованной территории увеличивается в зоне контакта вторичной моренной равнины с долинным Мокшинским ландшафтом, где вертикальная расчлененность достигает 50 – 60 м. В верхней части склонов грунты преимущественно сухие, в средней они почти весь год влажные, под подошвой склона относительно неглубоко располагаются подземные воды, насыщающие коренные породы. Подземные воды междуречий разгру-

жаются в чехол склоновых отложений. Склоны, обращенные к Мокше, короткие, крутые, расчленены глубокими балками. По коренному борту долины Мокши активно протекают оползневые и эрозионные процессы.

На водораздельных поверхностях и приводораздельных склонах распространены светло-серые и серые лесные почвы. На средних участках склонов они сменяются темно-серыми лесными почвами, а на нижних (придолинных) склонах преобладают черноземы. По западинам встречаются серые лесные глеевые почвы.

Естественная растительность этой группы геокомплексов представлена небольшими по площади дубравами и суходольными лугами.

На вторичных моренных равнинах выделены следующие урочища:

1 – пологоволнистые поверхности водораздельных пространств крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и элювиально-делювиальными отложениями со светло-серыми и серыми лесными легкосуглинистыми почвами;

2 – пологоволнистые поверхности водораздельных пространств крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и элювиально-делювиальными отложениями с оподзоленными черноземами и темно-серыми лесными тяжело- и среднесуглинистыми почвами;

3 – выпуклые поверхности средних участков склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами;

4 – нижние участки склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами со среднесуглинистым механическим составом;

5 – нижние участки склонов крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами со среднесуглинистым механическим составом;

6 – слабонаклонные поверхности придолинных склонов крутизной до  $2^\circ$ , сложенные лессовидными и делювиальными суглинками с выщелоченными черноземами с тяжелосуглинистым механическим составом;

7 – наклонные поверхности придолинных склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные делювиальными суглинками с выщелоченными черноземами с тяжелосуглинистым механическим составом;

8 – крутые (более  $10^\circ$ ) склоны, сложенные флювиогляциальными, делювиальными отложениями и оползневыми накоплениями с серыми лесными смытыми почвами. По динамическим характеристикам этот род природных комплексов может подразделяется на следующие геокомплексы:

8.1 – крутые активные склоны вогнутой формы верховий временных и постоянных водотоков. Активная регрессивная эрозия в сочетании с выходом родников и повышенным увлажнением определяет активное развитие оползневых и оплывинных процессов;

8.2 – крутые промаксимальные (остаточные) выпуклые в плане склоны с интенсивным дренированием и низким положением уровня подземных вод. Не-

устойчивые геоконплексы с преобладанием дефлюкционных и осыпных процессов;

8.3 – крутые боковые ровные в плане склоны долин малых рек. Активное развитие боковой эрозии, дефлюкции и оползневых процессов;

8.4 – крутые вогнутые (регрессивные) коренные склоны долины Мокши. Частые выходы на поверхность источников мочажинного типа, способствующие активизации оползневых процессов, а также дефлюкции;

8.5 – крутые выпуклые (проксимальные) коренные склоны долины Мокши. Редкие выходы на поверхность источников мочажинного типа. Относительно устойчивые;

8.6 – террасовидные поверхности на коренных склонах долины Мокши.

В гидрографической сети вторичных моренных равнин выделены следующие геоконплексы:

9 – крутые (более  $10^\circ$ ) прибалочные склоны с серыми лесными смытыми почвами; отмечается активизация эрозионных процессов;

9а – террасовидные поверхности на крутых склонах с серыми лесными смыто-намытыми почвами;

10 – днища лощин и балок, сложенные аллювиально-делювиальными отложениями с дерново-глеевыми почвами; на отдельных участках отмечается вторичный эрозионный врез;

11 – днища малых рек, сложенные аллювиально-делювиальными отложениями с дерново-глеевыми пойменными торфяно-болотными почвами.

Природные территориальные комплексы долинных ландшафтов отличаются высокой сложностью морфологического строения, которая определяется литогенной основой. Долинные комплексы Мокши и ее притоков имеют асимметричное строение склонов. В пределах долин прослеживаются от 2 до 4 эрозионно-аккумулятивных террас. Комплексы аллювиальных отложений сложены песчано-суглинистыми отложениями, представлены в верхней части разреза мелкими песками, иловатыми глинами и суглинками (старичный и пойменный аллювий), ниже преобладают пески – от мелких до крупных, нередко со значительным содержанием гравия и гальки. С поверхности на глубину 1,5 – 4,0 м отложения надпойменных террас большей частью перекрыты слоем делювиальных суглинков. В долине Мокши поверхность террас сложена преимущественно слабоглинистым песком, который имеет следующие несущие способности: сцепление – 0,002 МПа, угол внутреннего трения –  $34^\circ$ , модуль общей деформации – 32 Мпа. Это надежное основание для строительства зданий и сооружений. Коэффициент фильтрации песка от 1 до 10 м/сут, мощность отложений надпойменных террас колеблется в пределах 10 – 20 м и более.

Суглинок светло-коричневый, тяжелый, средней плотности, полутвердой и мягкопластичной консистенции, участками лессовидный, с содержанием пылеватых частиц от 38 до 44 %, слагает в основном верхнюю часть надпойменных террас. Имеет следующие несущие способности: сцепление – 0,025 МПа, угол внутреннего трения –  $17^\circ$ , модуль общей деформации – 12,7 Мпа, коэффициент фильтрации – 0,1 – 0,001 м/сут. В толще аллювиальных отложений имеется единый водоносный горизонт, глубина залегания которого от 2 до 10 м.

Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 1 г/л, обладают гидрокарбонатной, иногда общекислотной агрессивностью. Водообильность древнеаллювиальных отложений в целом значительная. Современные геологические процессы проявляются в заболачивании, образовании конусов выноса, протекании эолового переноса, возможна суффозия.

Пойменные отложения имеют высокие прочностные показатели и являются надежным основанием для различных видов сооружений. Но использование пойменных террас затруднено из-за периодического затапливания их паводковыми водами, неглубокого залегания грунтовых вод, а следовательно, широкого развития заболоченности и болот. Воды на отдельных участках обладают агрессивными свойствами по отношению к бетону нормальной плотности и коррозионными свойствами по отношению к металлам.

Максимальная мощность торфяных залежей в пойме Мокши 7,0 – 9,0 м, в среднем 2,5 м. По степени разложения торф средне- и сильноразложившийся, с высокой влажностью и высокой пористостью и, как следствие этого, очень сильной сжимаемостью. Неоднородность строения и состава торфяной залежи, а также сильная сжимаемость могут привести к значительным неравномерным осадкам, поэтому геокомплексы крайне неблагоприятны для возведения инженерных сооружений. В случае строительства рекомендуется удалить торфяную залежь на всю мощность. Многие торфяные залежи разрабатываются, торф используют как топливо и в качестве удобрений в сельском хозяйстве. Торфяные болота частично выработаны.

Значительная неоднородность физико-географических условий в долинах рек определяет присутствие широкого спектра типов почв. На террасовых комплексах Мокши в районе Краснослободска преобладают подзолистые, болотно-подзолистые, серые лесные и торфяные болотные почвы.

В поймах рек господствуют аллювиальные почвы: дерновые слоистые примитивные, дерновые слоистые, дерновые типичные, дерновые оподзоленные, дерново-глеевые и болотные иловато-перегнойно-глеевые. Разнообразие экологических условий в долинах рек проявляется в сложной структуре растительности и значительной концентрации реликтовых видов растений и животных.

В долине Мокши выделены следующие геокомплексы:

12 – волнистые поверхности надпойменных террас с эоловыми и суффозионными формами рельефа, сложенные аллювиальными отложениями, – пески с отдельными линзами суглинков и торфа. Глубина залегания грунтовых вод не превышает 2,0 – 2,5 м. Характерны слаборазвитые песчаные почвы под сосновыми и смешанными лесами;

13 – пологоволнистые поверхности надпойменных террас, сложенные древнеаллювиальными отложениями (пески с прослоями суглинков). Глубина залегания вод более 2,0 м. В структуре почвенного покрова преобладают дерново-подзолистые и светло-серые лесные почвы. Естественная растительность представлена сосновыми борами и дубравами;

14 – крутые склоны надпойменных террас со сложным микрорельефом, сложенные аллювиальными песками с прослоями суглинков. Грунтовые воды

залегают на разной глубине. Преобладают смешанные леса на дерново-подзолистых почвах;

15 – пролювиальные конусы выноса, сложенные суглинками, песками и лессовидными образованиями. Грунтовые воды залегают близко к поверхности. В структуре почвенного покрова преобладают аллювиальные дерновые почвы;

16 – комплексы западин и котловин на надпойменных террасах;

17 – комплексы возвышенных фрагментов надпойменных террас;

18 – пойменные комплексы.

На террасовых комплексах (род геокомплексов – 16) правобережья Мокши отмечается развитие суффозионных процессов. Они индицируются по распространению блюдобразных понижений, в которых происходит оседание поверхности земли за счет выноса водами мелких частиц.

Геологическую среду Краснослободска и его пригорода для промышленно-гражданского строительства целесообразно разделить на следующие.

А. Благоприятные, не требующие специальной инженерной подготовки: геокомплексы типов 1 – 7 вторичной моренной равнины, 13 – 14 долины Мокши. На отдельных участках требуется сооружение дренажных устройств. Прочностные показатели грунтов высокие, глубина до воды с учетом сезонных колебаний уровня изменяется от 2 до 4 м. Инженерно-подготовительные мероприятия включают в себя гидроизоляцию, в отдельных случаях – дренаж, поскольку возможны проявления подтопления и уменьшения несущей способности грунтов.

Б. Ограниченно благоприятные, требующие специальной инженерной подготовки: геокомплексы типов 8 – 11 вторичной моренной равнины и природные комплексы типов 12, 14, 15, 16, 17 долины Мокши.

Наименее благоприятными для инженерного освоения являются геокомплексы типа 8, где на крутых активных склонах под влиянием активной регрессивной эрозии в сочетании с выходом родников и повышенным увлажнением возможен сход крупных, глубоких оползней.

В геокомплексах 12 – 16 распространены просадочные грунты. В откосах строительных выемок суффозионный вынос частиц приводит к оседанию поверхности, образованию оплывин, провалов, оползней. Суффозионные явления отрицательно сказываются на устойчивости зданий и сооружений, из-за них возможны большие потери воды из водохранилищ или большой приток воды в строительные котлованы. Следовательно, при градостроительном освоении необходимо предусмотреть целесообразность применения противо-суффозионных мероприятий.

Пойменные геокомплексы (тип 18) имеют значительную вероятность затопления паводковыми водами.

Воды на отдельных участках обладают агрессивными свойствами по отношению к бетону и коррозионными свойствами по отношению к металлам. Для оптимизации геологической среды необходимо предусматривать комплекс мероприятий, включающий устройство дренажных магистралей, гидроизоляцию.

Анализ структуры и свойств геологической среды территории Краснослободска показывает, что в системе мероприятий по улучшению экологической обстановки важное место должны занимать вопросы защиты инженерных сооружений от развития оползневых процессов, подтопления, затопления, наледообразования и пучения (рис. 13). Меньшую угрозу состоянию геотехнических систем представляют суффозионные процессы. Общая площадь территории, подверженная инженерно-геологическим процессам, с учетом потенциально-оползневых прибрежных территорий, составляет около 40,0 га, на ней проживает около 300 человек. На этой площади расположены: нефтебаза, скважины питьевого водоснабжения, трансформаторная подстанция, воздушные и подземные коммуникации.

Наиболее активно геоэкологические процессы протекают в урочище «Ямище», в восточной части города вблизи ткацко-пряделной фабрики и школы № 1, а также в северной части города вблизи интерната. Развитие оползней и явлений подтопления связано с общим наклоном коренных горных пород с северо-запада на юго-восток.

Современные причины повышения активности геолого-геоморфологических процессов на территории города во многом связаны с особенностями функционирования геотехнических систем и особенностями градостроительного освоения геокомплексов: утечками воды из систем водопровода и канализации, сетей отопления; нарушением поверхностного стока с концентрацией атмосферных осадков в искусственных выработках; подпором грунтовых вод в пределах застроенных территорий; уменьшением испарения и транспирации влаги из зоны аэрации вследствие застройки и асфальтирования части территории, а также ликвидации естественной растительности; засыпкой естественных водотоков – тальвегов, оврагов, балок; аккумуляцией снега на отдельных участках города, приводящей к удлинению срока снеготаяния и увеличению количества инфильтрующихся талых вод; подпором грунтовых вод фундаментами зданий и сооружений; изменением коэффициента фильтрации грунтов.

Мероприятия по защите города от неблагоприятных процессов должны носить как предупредительный, так и защитный характер. Предупредительные мероприятия должны проводиться на всех потенциально опасных территориях (особенно в геокомплексах типов 8 – 11 вторичной моренной равнины и природных комплексах типов 12, 14, 15, 16, 17 долины Мокши). Нужно учитывать, что деструктивные процессы легче и дешевле предотвратить, нежели остановить. В комплекс работ по предупредительной защите территории входят: организация и ускорение стока поверхностных вод; искусственное повышение планировочных отметок территории; устройство защитной гидроизоляции заглубленных сооружений; сооружение профилактических пристенных, пластовых и сопутствующих дренажей; строительство водонесущих коммуникаций и правильная их эксплуатация с целью предотвращения утечек; сооружение дренажей, перехватывающих подземный сток.

Общая защита застроенных территорий осуществляется с помощью однолинейных, двухлинейных и площадных систем дренажей горизонтального, вертикального и комбинированного типов. При очаговом характере подтопле-

ния отдельные здания и сооружения защищаются локальными дренажами – контурными, линейными, лучевыми, пластовыми, пристенными и др. Локаль-

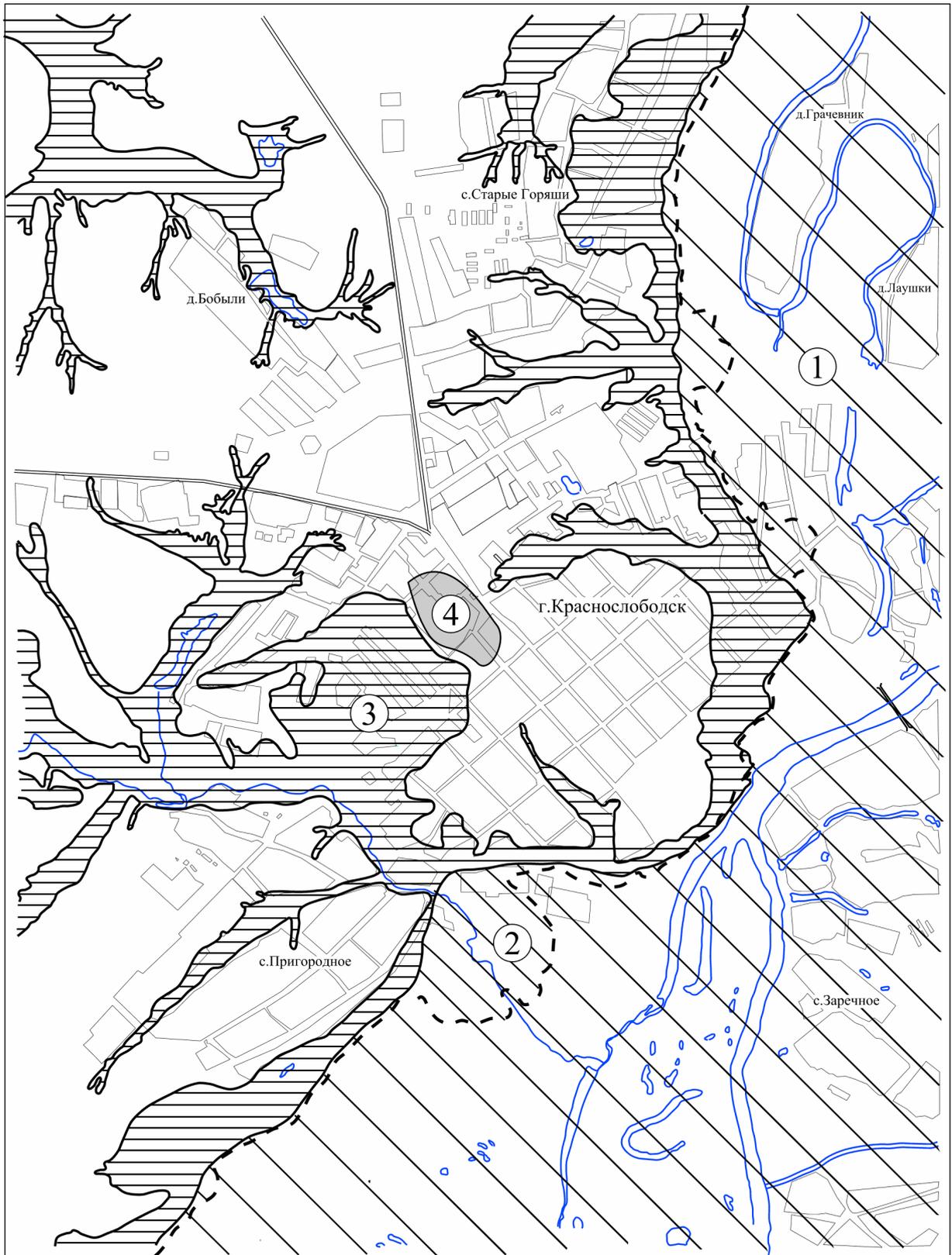


Рис 13. Участки геоэкологического риска градостроительного освоения в связи с:  
 1 – затоплением; 2 – суффозией и подтоплением;  
 3 – оползнеобразованием; 4 – подтоплением

ные дренажи применяются и в тех случаях, когда мероприятия по общей защите территории не обеспечивают требуемых понижений уровня грунтовых вод в основаниях отдельных зданий.

На участках, предназначенных под застройку жилыми и общественными зданиями капитального типа, должно быть обеспечено понижение уровня грунтовых вод (считая от проектной отметки территории) не менее 2 м, а на участках, предназначенных для размещения стадионов, парков, скверов, – не менее 1 м. Эти рекомендации предусматриваются в СНиП II–60–75 (в пунктах 12.7, 12.13, 12.14).

Организация поверхностного стока на большей части города может осуществляться открытым способом посредством кюветов со сбросом воды в балки.

**Функционально-планировочная организация территории города Краснослободска.** Оптимизация территориальной организации города и выделение особенностей социально-экономического развития микрорайонов предполагают последовательное решение следующих задач:

- определение направления и масштабов преобразования пространственной структуры территории;
- функциональное зонирование населенного пункта и формирование модели системы экологического каркаса на базе существующей водно-зеленой зоны;
- выработка общей стратегии устранения и стабилизации проблемных экологических ситуаций.

Крепость Красная Слобода была основана в 1571 г. при строительстве первой засечной черты на территории современной Мордовии. Она была заложена на левом коренном склоне долины Мокши. Планировочная структура Красной Слободы – крепость–торг–посад. В 1780 г. поселение было переименовано в Краснослободск и получило статус уездного города Пензенского наместничества (с 1801 – Пензенской губернии). В начале XIX в. в Краснослободске формируется прямоугольная сетка улиц с прямоугольными кварталами. На месте крепости возникла площадь с собором, застроенная по периметру каменными жилыми и общественными зданиями. Дальнейшее развитие города происходит в северо-западном направлении. Среди построек XIX – начала XX в. сохранились дома купца Широкова (ул. Кирова), Соловьевой (ул. Интернациональная, 59), Воронина (ул. Интернациональная, 57), купца Муромцева (Базарная, ныне Советская пл., 16), Шелкова (ул. К. Маркса, 19), булочная купца Чернова и другие. Исторический центр, сформировавшийся на выпуклом коренном склоне долины Мокши, в настоящее время с запада и севера ограничивается одноэтажной застройкой с прямоугольными кварталами.

К концу XX в. кроме центрального района формируются северный промышленно-селитебный и селитебный комплекс в урочище «Ямище», северо-западный, пригородный (юго-западный) и примокшинский. Каждый из перечисленных районов имеет выраженные геоэкологические особенности развития.

Значительные геоэкологические проблемы может повлечь развитие города в северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях, т. е. в пойме реки Мокши – примокшинский район. При этом неизбежно придется решать сложные проблемы, связанные с подтоплением и сезонными затоплениями. Ориентация территориального развития далее на восток и юго-восток (т. е. активное освоение правого, противоположного берега Мокши) объективно потребует проведения дорогостоящих работ по расширению сети транспортных и иных коммуникаций. Поэтому градостроительное освоение геокомплексов восточных направлений является нецелесообразным.

Проблематичным является развитие пригородного (юго-западного) района. Положительный сам по себе факт примыкания к городу с юго-запада крупного массива плодородных земель делает неоправданным их изъятие из сельскохозяйственного производства ради расширения Краснослободска в этом направлении.

Против развития города в западном направлении по крутым и наклонным склонам, примыкающим к р. Жабка (Синявка), предостерегает неудачный опыт такой попытки, осуществленной в 1950-х гг. Из возникших тогда на территории урочища «Ямище» нескольких улиц к настоящему времени часть уже полностью разрушена оползновыми процессами, а оставшиеся жители испытывают проблемы в связи с активизацией оползней, образованием наледей, пучений и подтоплением инженерных сооружений.

Наиболее благоприятным для развития города представляется северо-западный сектор (треугольник), заключенный между двумя автомобильными трассами – уходящей на запад – на Атюрьево и на север – на Ельники. Обе эти магистрали соединяются на окраине Краснослободска, образуя развилку центральной улицы Кирова, а эта улица в свою очередь доходит до исторического центра города на берегу Мокши. Многоэтажная застройка этой территории уже начата. Геоэкологические условия благоприятны для дальнейшего строительства жилых массивов, расчлененных проездами, которые выходят противоположными концами на Ельниковскую и Атюрьевскую трассы. Целесообразно проводить «послойное» наращивание освоенной площади треугольника (вдоль его основания), причем из геоэкологических и эстетических соображений необходимо обеспечить следование за каждым «слоем» кварталов многоэтажной застройки «слоя» кварталов с коттеджами. Наличие вдоль обеих сторон треугольника свободных территорий создает предпосылки для организации здесь промышленной зоны.

При дальнейшем развитии в северо-западном направлении к городу примкнут с. Старые Горяши и д. Бобылевские Выселки (Садовый).

Основным элементом природного (экологического) каркаса Краснослободска является пойма Мокши, к востоку от которой располагаются примокшинские лесные массивы на древнеаллювиальной равнине. Со стороны Краснослободска на долину Мокши открывается живописный ландшафт. В пойме реки расположена система особо охраняемых природных территорий. Согласно постановлению Правительства РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404 «Об утверждении Положения о водоохраных зонах водных объектов и их при-

брежных защитных полосах» минимальная ширина водоохранной зоны для Мокши в районе Краснослободска 400 м. В настоящее время пойма сильно изменена сельскохозяйственной деятельностью.

В качестве приоритетных направлений формирования экологического каркаса города должны рассматриваться также геокомплексы долины реки Жабки (Синявки), овражно-балочные комплексы и геокомплексы крутых склонов, включая урочище «Ямище», которые соединят зеленые зоны жилых районов города с пригородными лесопарковыми массивами. Пересеченный живописный рельеф левобережья Жабки (Синявки) особенно благоприятен для рекреационного и природоохранного освоения. На геоэкологически устойчивых (стабильных) к развитию оползневых процессов участках, возможно строительство небольших капитальных сооружений – домов отдыха, санаториев, лыжных баз и т. д.

**Экономическое развитие и экологические проблемы.** В Краснослободске размещены предприятия приборостроительной, пищевой и легкой отраслей, представленные радиозаводом, заводом «Промсвязь», ремонтно-механическим предприятием, прядильно-ткацкой фабрикой, предприятиями по выпуску пищевой продукции, типографией, предприятием «Электросети» и др. Их размещение не имеет определенной системы, что создает в ряде случаев нарушение зон санитарной охраны между промышленными площадками и жилыми районами и вызывает загрязнение атмосферы, почвенного покрова и поверхностных вод на территории жилой застройки. На некоторых предприятиях отмечается увеличение выбросов вредных веществ за счет увеличения мощности производства на старых площадях (например, на прядильно-ткацкой фабрике).

Особенности географического положения Краснослободска в структуре ландшафтов Примокшанья, характер эволюции планировочных и архитектурных форм создали хорошие предпосылки для развития в городе и прилегающем культурном ландшафте рекреационных комплексов.

**Предложения по дополнительному водообеспечению и меры по обеспечению качества питьевой воды.** Исходя из гидрогеологических условий основного водоносного горизонта, особенностей строительства артезианских скважин и их технического оснащения в пределах Краснослободского района выделяются три района.

Первый район охватывает левобережную часть долины Мокши. Воды карбонатного каменноугольного горизонта вскрываются на глубинах 47 – 114 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 10 – 78 м, абсолютные отметки 120 – 130 м. Высота напоров изменяется от 24 до 60 м. Удельный дебит составляет 0,4 – 9,2 л/с на 1 м понижения при среднем значении 1,8 л/с. Поднимаемые воды хорошего питьевого качества. Воды пресные гидрокарбонатные. Содержание фтора соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.559–96 «Вода питьевая».

Второй район приурочен к долинам рек Мокши и Сивини. Водосодержащие отложения наиболее близко залегают от поверхности земли. Перекрывающие отложения представлены аллювиальными четвертичными осадка-

ми и относительно водоупорными породами юрских отложений. Мощность перекрывающей толщи в основном не превышает 50 м, выше по течению Мокши в пределах ее долины мощность перекрывающих отложений увеличивается до 70 м. Появление воды в скважинах при их проходке отмечается на глубинах от 7,5 до 70 м. В большинстве скважин воды самоизливающиеся, уровни устанавливаются на абсолютных отметках в долине Мокши – 110 – 120 м, Сивини – 120 – 130 м. Напорность вод изменяется от безнапорных до слабонапорных с высотой «столба» до 53 м. Водообильность карбонатных отложений в данном районе выше, чем в первом районе, но разброс в показателях значительно больше. Удельные дебиты скважин изменяются от 0,4 до 19,4 л/с на 1 м, при средних значениях 3,9 л/с. Химический состав извлекаемых вод в пределах второго района отвечает нормативным значениям показателей СанПиН 2.1.4.559–96 «Вода питьевая», но при использовании вод требуется контроль за изменением содержания фтора и в случае увеличения концентрации – проведение работ по обесфториванию.

Третий район разделяется долиной р. Сивинь на два участка: правобережный и левобережный. В гидрогеологическом плане он приурочен к области питания артезианского бассейна подземных вод. Воды основного горизонта располагаются на абсолютных отметках 130 – 140 м, опускаясь к р. Сивинь на 10 – 20 м. Напорность горизонта незначительная – 20 – 30 м в правобережном участке района и 30 – 50 м – в левобережном. Мощность перекрывающих мезо-кайнозойских отложений изменяется в зависимости от глубин эрозионных врезов в пределах как современного рельефа, так и поверхности карбонатных пород и составляет 50 – 100 м. Водообильность основного горизонта имеет средние значения между величинами удельных дебитов второго и первого районов и составляет в среднем 2,1 л/с на 1 метр понижения уровня воды, изменяясь в пределах от 0,4 до 8,3 л/с. По химическому составу воды гидрокарбонатные пресные.

Современное использование артезианских вод основного водоносного средне-верхнекаменноугольного горизонта, содержащего большие эксплуатационные запасы пресных вод хорошего питьевого качества, практически не вызывает изменений в гидрогеосистемах и окружающей среде. Введение же в эксплуатацию запланированных крупных централизованных водозаборов г. Краснослободск, г. Ковылкино, Сивинского участка, Южно-Горьковского месторождения и увеличение числа единичных водозаборных сооружений вызовет негативные изменения гидрогеологических условий территории Краснослободского района. Это в свою очередь, вероятно, повлияет на состояние экосистем бассейнов малых рек, расположенных в третьем гидрогеологическом районе, и на экосистемы р. Сивинь, особенно в пределах среднего ее течения. В связи с этим требуется проведение специализированных эколого-гидрогеологических исследований с целью изучения водного баланса и прогнозного нарушения гидрогеодинамических условий, активизации карстового процесса в пределах Сивинской структуры.

Количество воды, подаваемой в город, по данным его администрации, превышает норматив на 1 жителя в 8 раз. Это говорит об огромных утечках из

водопроводной сети, возрастающих по мере ее старения. Ремонт затрудняется отсутствием сведений о местоположении сетей 1940 – 1960-х гг. постройки, а в последние годы – и бедственным положением городского бюджета.

Для обеспечения населения качественными водами и уменьшения геоэкологического риска проживания необходимо: создать централизованную систему водоснабжения, восстановить зоны санитарной охраны вокруг водозаборных сооружений (у 45 % скважин они отсутствуют), организовать планомерный ремонт водопроводных сетей.

**Предложения по складированию и утилизации отходов.** Полигон складирования отходов окружен защитной зеленой зоной. Для сбора и очистки дождевых, талых и дренажных вод произведена обваловка. Рекомендуются организация наблюдательных скважин.

Для экологически безопасного развития Краснослободска необходимо провести ликвидационные работы на скотомогильнике, расположенном в 500 м к северо-западу от Бобылевских Выселок, создать единый скотомогильник по согласованию с соответствующими организациями.

**Оптимизация эколого-геохимической обстановки.** Результаты эколого-геохимического картографирования территории Краснослободска выявили следующие техногенные аномалии.

1. Высокий уровень загрязнения почв ( $32 < Z_c < 128$ ) на территориях, прилегающих к типографии (Zn40 Pb4.2 Sn2.0) и лесхозу (Pb16.7 Sn13.3 Pb5.3 Zn2.5). Образование этих аномальных зон произошло за счет загрязнения почв выбросами данных предприятий и транспорта.

2. Средний уровень загрязнения почв ( $16 < Z_c < 32$ ) на участках, прилегающих к комбинату бытового обслуживания (Zn10 Pb7.9 Ag, Ba5), и на пересечении улиц Карла Маркса и Интернациональная (Pb15.8 Zn5 Cu2.2). Основной источник загрязнения на этих территориях – автотранспорт.

3. Низкий уровень загрязнения почв ( $8 < Z_c < 16$ ) отмечается в центральной части города (Zn6 Pb3.6), около промышленных предприятий: «Агрохимия» (Y3.2 Sc3.1 Ba2.6 Sr, Nb2.5 Cr, Yb2), «Тепловые сети» (Zr3.5 Zn, Nb2.5 Pb2.4) и РСУ-2 (Cu5.6 Sn3.3 Zn2.5); вдоль отдельных участков автодорог: в южной части улицы Калинина (Zn3 Sn2.7 Cu2.2 Ni, Mn 2.1 Mo2), в западной части города на крутом спуске автодороги Краснослободск – Ковылкино, около магазина в селе Старые Горяши (Zr3.7 Ba3.3 Sc2.3 Mn2.1), у плотины в с. Пригородное, на отдельных заболоченных участках в поймах рек Мокша (Cu5.6 Sn3.3 Zn2.5) и Шапа (Cr5.5 Cu2.8 Zn2). Большинство аномальных зон образовалось за счет выбросов расположенных рядом предприятий и автотранспорта.

Для уменьшения геоэкологического риска проживания населения рекомендуется: ускорить работы по строительству объездной дороги; решить вопрос о переносе автостанции в северо-западный район, сформировать систему лесозащитных полос вдоль автодорог.

**Меры по предупреждению биологического загрязнения.** Необходимы реставрация и развитие ливневой и хозяйственно-бытовой канализации. В настоящее время она охватывает лишь часть города – менее 10 % и 60 % насе-

ления. В пределах частной застройки сброс хозяйственно-бытовых отходов производится в индивидуальные выгребные ямы и поглощающие колодцы.

Санитарное состояние и качество уборки территории города не отвечают необходимым требованиям. Свалки твердых и жидких бытовых отходов находятся в неудовлетворительном состоянии. Имеются несанкционированные свалки, являющиеся одним из источников бактериального и паразитарного загрязнения почвы и грунтовых вод.

Утечки воды из водопроводящей сети, канализации, а также изменение условий стока грунтовых вод в результате строительства инженерных сооружений вызвали формирование в ряде районов города техногенных куполов грунтовых вод – в окрестностях консервного завода, хлебозавода и овощехранилища; трикотажной фабрики, школы № 1, ГПТУ № 17, ветлечебницы и зооветтехникума; в районе дома пионеров и детской библиотеки; в районе жилого массива на севере города, вдоль шоссе на Ельники; в районе кирпичного завода, гаражей райпо, прудов, южной части территории «Промсвязи». Это усиливает степень геоэкологического риска не только для функционирования промышленных и жилых зданий (подтопление и проявление оползневых и оплывинных процессов), но и биологического загрязнения питьевых вод.

Вода реки Мокши и ее притоков на территории города не удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.559–96 «Вода питьевая». Наблюдаются превышение нормальных показателей для водных объектов рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования по содержанию нефтепродуктов, азота аммонийного, меди, фтора, а также несоблюдение нормативов по содержанию растворенного кислорода.

Основными источниками загрязнения Мокши и ее притоков на территории города являются: неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды промышленных предприятий и бытовые стоки; поверхностный дождевой сток с неблагоустроенных городских и пригородных территорий, огородных участков; нарушение режима землепользования и полива садово-огородных участков, что приводит к превышению норм по азоту, нитратам, к накоплению продуктов распада ядохимикатов; поступление загрязняющих веществ со сточными водами от животноводческих ферм и птицекомплексов; наличие складов ТСМ и удобрений, свалок бытового и строительного мусора в водоохраных зонах.

Анализ состояния поверхностных вод показывает, что проведенные в последние годы работы по охране водных объектов (строительство городских очистных сооружений, очистных сооружений консервного завода, ликвидация летних лагерей содержания скота и др.) являются недостаточными. Необходимо проводить целенаправленную работу по удалению из водоохраных зон объектов повышенной экологической опасности.

**Меры по сохранению экосистем пригородной зоны.** Учитывая, что на территории, рекомендуемой к градостроительному освоению, и смежных с ней будет протекать разнообразная хозяйственная деятельность, в целях обеспечения благоприятной экологической обстановки землепользователи обязаны: соблюдать все требования нормативных документов по охране природы, почв и

водоисточников; производить основную обработку почв преимущественно поперек склонов; избегать сильного распыления почв и размещения полевых дорог на участках с большим уклоном; не допускать образования эрозионных борозд и глубокой колеи вдоль склонов; на присетевых склонах крутизной свыше 3° отдавать предпочтение почвозащитным севооборотам с большим долевым участием трав; избегать распашки задернованных ложбин, по которым концентрируется сток; не допускать вырубку и потраву всех видов защитных лесных насаждений; соблюдать нормы и сроки внесения минеральных удобрений; передавать сильно разрушенные эрозией земли для строительства водозадерживающих и водоотводящих валов, плотин-перемычек, выполаживания и отсыпки оврагов; не допускать сплошной распашки пойменных земель; на локальных участках донных размывов оврагов производить посадки ивы, устраивать плетневые, фашинные и деревянные запруды; при соответствующем правовом оформлении заблаговременно выделять земли под различные категории защитных лесных насаждений; огораживать действующие ключи и родники; избегать бессистемных переездов гужевым и другим транспортом мелких водоисточников.

В водоохраных зонах малых рек, включая верховья транзитно протекающих по территории поселка, запрещается: применение ядохимикатов при борьбе с вредителями, болезнями растений и сорняками; размещение складов ядохимикатов, минеральных удобрений, ТСМ, ферм, складирование навоза, мусора и отходов производства; организация стоянок, заправок, моек и ремонтных мастерских для автотранспортного парка; вырубку всех видов лесных насаждений; проведение скотопрогонов вдоль родников и истоков малых рек; добыча местных строительных материалов; строительство объектов производственного назначения.

В пределах прибрежных полос рек, озер и водохранилищ не допускаются распашка земель, выпас и организация летних лагерей скота, применение удобрений, установка палаточных городков. Лучший вид использования прибрежных полос – залужение.

#### **Геоэкологический анализ районов города.**

**Центральный район** расположен на придолинном склоне Мокши. На западе он ограничивается урочищем «Ямище», а на севере – северным промышленно-селитебным районом, от которого на значительном протяжении отделяется балкой.

Инженерно-геологические условия, за исключением геоконструкций типа 8, благоприятны для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Но в южной, юго-восточной и восточной периферии центрального района по крутому коренному склону долины Мокши имеются проявления современных оползневых процессов. Два оползня находятся в районе школы № 1, комбината бытового обслуживания, прядильно-ткацкой фабрики на крутом эрозионном склоне долины р. Мокша. Оползневый процесс здесь охватывает практически весь склон по высоте 18 – 20 м. По морфологическим признакам, вероятно, он относится к оползням срезания или гидродинамического разрушения – с выплыванием разжиженного грунта в основании склона. Основной причиной

оползнеобразования здесь является повышение обводнения грунтов склона вследствие техногенных факторов. В будущем в этом районе не исключены новые оползневые подвижки, которые могут угрожать строениям за бровкой склона и в его основании. В связи с тем что оползни гораздо дешевле предотвратить, нежели остановить, при градостроительном развитии центра размещение инженерных сооружений в геокомплексах типа 8 нецелесообразно. В зоне развития оползневых процессов необходимо исключить утечки из канализационной и водопроводной сети, концентрацию поверхностного стока.

Анализ содержания тяжелых металлов в почвах выявил повышенные значения суммарного показателя на территориях типографии (Zn40 Pb4.2 Sn2.0), комбината бытового обслуживания (Zn10 Pb7.9 Ag, Ba5), на пересечении улиц Карла Маркса и Интернациональная (Pb15.8 Zn5 Cu2.2) и в южной части улицы Калинина (Zn3 Sn2.7 Cu2.2 Ni, Mn 2.1 Mo2).

Слабый уровень загрязнения снежного покрова отмечается на отдельных участках улиц Халтурина (Zn8.2 Ag5.6 Pb2.4 Zr2.3), Коммунистическая (Yb4.6 Ba3.1 Mo2.8 V2.7 Sc2.5 Sr, Cr, Ti2.4) и на отдельных локальных участках в центральной части города (Cu8.2 Ag6.3 Pb3.3 Yb, V2).

Для оптимизации геоэкологических условий центрального района необходимо:

- вынести из водоохранной зоны прядильно-ткацкую фабрику, что кроме решения экологических задач (соблюдение санитарно-защитных зон по шуму) создаст условия для реставрации Троицкой церкви, находящейся на территории фабрики;
- обозначить градостроительную тенденцию центральной части города и ул. Кирова на расширение за счет реконструкции частной застройки в 2 – 3-этажную секционную;
- ускорить строительство объездной дороги;
- разработать проект переноса автостанции в Северо-западный район.

Учитывая слабую устойчивость коренного склона долины Мокши, активное развитие оползней, необходимо организовать систему мониторинга инженерно-геологических процессов.

**Район урочища «Ямище»** расположен в древнем оползневом цирке. С юга он ограничивается балочными комплексами р. Синявка (Жабка), а на севере примыкает к северному промышленно-селитебному району.

Территория урочища «Ямище» характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями и активным развитием оползневых процессов. Склоны урочища сложены до глубины 4 – 7,5 м суглинками – серовато-коричневыми, опесчаненными, с прослоями мелкого песка. Ниже залегают темно-серые жирные глины, подстилаемые на глубине 15 – 16 м тонкозернистыми водонасыщенными плавунными песками. Именно последний слой является водовмещающим для грунтового водоносного горизонта. Размеры оползня достигают длины 1 км по периметру котловины, ширина до 0,4 км. По форме в плане он близок к фронтальному с осложнением за счет разрастания отдельных блоков. Современный оползень имеет ширину 0,1 – 0,2 км, сверху он четко ограничивается стенкой срыва. Стенка свежая, с четко выраженной бровкой, вы-

сотой от 0,7 до 2,5 м, почти отвесная. В основании пластовый выход подземных вод. Примерная оценка расхода потока дала величину 50 – 100 л/сут на 1 пог. м вдоль склона, или 20 – 40 м<sup>3</sup> / сут на длину активного оползня. Водовмещающими породами являются тонкозернистые и плывунные пески. Вдоль всей головной части оползня наблюдается субгоризонтальная ступень шириной до 10 м. На многих участках она обводнена (мочажины) и заболочена. Весь оползневый массив может быть разделен на 4 блока, которые фиксируются морфологически на поверхности оползня. Смещение блоков автономное со скоростью до 3 – 5 м в год. Наблюдались и катастрофические быстрые подвижки.

По механизму смещения оползень относится к комбинированному типу – скольжение, переходящее в течение. Поверхность скольжения проходит по контакту предположительно меловых водонасыщенных песков и вышележащей толщи сильнотрещиноватых глин. Смещением захвачены как блоки коренных пород (в головной части), теряющих прочность при увлажнении, так и оползневые накопления, испытывающие повторные подвижки. Древнеоползневые подвижки представлены в основном тяжелыми суглинками и глинами. В активизации смещений отдельных блоков, возможно, играют определенную роль линзы водонасыщенного песка в основании оползневых отложений. Воды в них в периоды повышенного увлажнения могут иметь местные напоры. В средней и нижней частях оползня происходит течение разжиженных грунтовых масс в результате интенсивного увлажнения.

Участок в районе ул. Трудовая представляет собой самостоятельный недавно активизировавшийся блок в западной части урочища «Ямище». Исходный склон на этом участке был положе, чем в остальной части урочища. Его геологическое строение аналогично вышеописанному. В понижениях кровли коренных пород, представленных темно-серыми жирными глинами, залегают элювиально-делювиальные и флювиогляциальные суглинки с прослоями мелкозернистых песков. С глубины 2,0 – 2,5 м пески обводнены и представляют собой плывун. Мощность водоносного горизонта летом 1996 г. была 1,6 – 1,9 м, весной и осенью, по сведениям местных жителей, возрастает более чем на 1 м. Расчетный расход потока примерно 150 – 250 л/сут на 1 пог. м вдоль бровки. Водоносный горизонт ранее эксплуатировался колодцем, который в настоящее время полностью разрушен. На участке развиваются оползневые деформации различных типов: оползни скольжения, оползни течения, мелкие срывы и оплывины. Длина блокового оползня около 60 м, ширина 50 – 60 м, глубина захвата 8 – 10 м. Смещения происходят, очевидно, внутри коренной глинисто-песчаной толщи, а также по кровле глин (вязкопластическое течение переувлажненных флювиогляциальных суглинков с глубиной захвата 2 – 3 м). Амплитуда смещений не менее 2 – 3 м.

Оползневыми процессами полностью разрушена застройка в западной части ул. Советская и ул. Пушкина, ряд домов в этом районе находится в серьезной опасности. Под угрозой также ряд домов по ул. Трудовая, здания, строящиеся в основании склона, а также ЛЭП, трассы водопровода, газоснабжения и др. В настоящее время городской администрацией принято решение о переселении жителей из 19 домов. При отсутствии защитных мероприятий оползневые про-

цессы постепенно охватят склоны на всю высоту, угрожая зданиям РСУ, «Сельхозтехники», нефтебазе и ряду жилых домов и хозяйственных построек в северной промышленно-селитебной зоне.

По ул. Советская, в ее западной половине, ранее была отрыта дренажная канава, в которой уложено 5 ниток гибких синтетических дренажных труб диаметром по 50 мм. Малый диаметр труб в сочетании с невысокими фильтрационными свойствами оползневых грунтов обусловил низкую эффективность дренажа даже в теплый период года, а в зимний период вследствие небольшой глубины заложения грунт вокруг дренажных труб, вероятно, промерзал, полностью выводя их из строя.

Кроме оползневых процессов в урочище «Ямище» массовое повреждение зданий и чрезвычайно тяжелые условия проживания людей связаны с пучением, образованием наледей и подтоплением. Наледи мощностью до 1 м разрушают заборы, сараи, фундаменты жилых домов. Промерзание мочажин на теле современного оползня через определенное время заканчивается прорывом ледовой корки и истечением вод вниз по рельефу на жилые дома. Деформации ряда зданий вызваны перекосами фундаментов мелкого заложения из-за морозного пучения суглинистых грунтов. Подтопление вызывает гниение деревянных частей конструкций зданий. Все эти процессы появились в последние 10 – 15 лет в связи с повышенным обводнением верхней части грунтовой толщи.

Геоэкологическое состояние района неудовлетворительное. Централизованная канализация отсутствует. Бытовые сточные воды сбрасываются в основном на грунт. Фекальные отходы накапливаются в выгребных ямах. В условиях подтопления, пучения и образования наледей они частично попадают в грунтовый горизонт. Так, в районе ул. Трудовая установленные ранее на оползневом склоне два железобетонных выгребных колодца, соединенные с жилыми домами трубами, в настоящее время переполнены, смещены и стоки растекаются вниз по склону. Подводящие трубы разрушены, и сброс хозяйственно-бытовых вод также осуществляется непосредственно на склон. Система ливневой канализации за бровкой срыва не организована. Ливневые и талые воды отводятся от жилой застройки по лоткам, из которых стоки беспорядочно сбрасываются на прибровочную часть склона.

Учитывая наличие трещин закола за бровкой срыва, висячий характер основного оползневого тела, а также продолжающийся сброс ливневых и хозяйственно-бытовых стоков, в зимне-весенний период можно ожидать активизацию всех неблагоприятных процессов. Без защитных мероприятий эти процессы в урочище «Ямище» не только не будут затухать, но создадут еще большую угрозу жизни людей и сохранности зданий и сооружений.

Район урочища «Ямище» характеризуется сравнительно малым загрязнением атмосферы и почв. Слабый уровень загрязнения снежного покрова отмечается на крутом спуске автодороги Краснослободск – Ковылкино (Sc18.8 V3.6 Yb2.3). Здесь же отмечается низкий уровень загрязнения почв.

Учитывая опыт градостроительного освоения района и современное развитие геоэкологических процессов, целесообразно использовать живописный

рельеф урочища для формирования рекреационного комплекса – парка, лыжных баз и т. д.

Необходимо продолжить инженерно-геологические наблюдения за развитием оползневых процессов в направлении промышленной зоны, где в территориальной близости к оползневому склону расположены нефтебаза, ремонтно-техническое предприятие, водонапорные башни и другие геотехнические объекты. Исходя из результатов мониторинга развития геоэкологических процессов в урочище «Ямище» должно быть вынесено решение о целесообразности переноса перечисленных объектов и укрепления оползневого склона.

**Северо-западный жилой район** является наиболее перспективным для развития города. Геоэкологические условия благоприятны для строительства инженерных сооружений.

Результаты геохимического картирования показали удовлетворительное состояние экологической среды. Небольшие техногенные ореолы слабого уровня загрязнения снежного покрова отмечаются в районе гаражей (Zn8.2 Ag7 Mo3.4).

Для экологически безопасного развития жилого района необходимо упорядочить процесс строительства гаражей и сараев, так как в настоящее время они представляют повышенную санитарно-эпидемическую опасность, организовать централизованное строительство объектов и создать санитарно-защитные зоны.

**Северный промышленно-селитебный район** вытянут с северо-запада на юго-восток от коренного склона долины Мокши до урочища «Ямище». На юго-востоке от него находится центральный, а на северо-западе развивается северо-западный жилой район. Целостной внутренней структурой район не обладает. Жилые застройки перемежаются с территориями промышленных предприятий.

Территориальное развитие северного промышленно-селитебного района осложняется довольно активными геоэкологическими процессами, проявляющимися в развитии на крутых склонах (8-й тип геоконплексов) оползневых процессов, а также подтоплении оснований инженерных сооружений. За улицей 1-я Рабочая, в районе газонакопительной станции, вероятно развитие суффозионных процессов.

Крупный оползень срезания формируется на северном склоне оврага у школы-интерната. Он может охватить весь склон до тальвега оврага (около 19 м по вертикали) либо его верхнюю и среднюю части. В настоящее время в верхней части уже сформировалась циркообразная ступень срыва высотой до 0,6 м и длиной до 70 м. Активизация процесса частично связана с созданием котлована под фундамент здания. Сползание грунтов привело к аварийной ситуации на линии газопровода низкого давления. Вдоль автодороги Краснослободск – Саранск на коренном склоне Мокши оползневыми процессами разрушены гаражи.

Повышенный геоэкологический риск существует в промышленных геотехнических системах и жилых кварталах, соседствующих с древним оползневым цирком «Ямище».

Анализ эколого-геохимического состояния почв северного промышленно-селитебного района показал присутствие значительных по площади техногенных аномалий: высокий уровень загрязнения почв ( $16 < Z_c < 32$ ) отмечается на территории лесхоза (Pb16.7 Sn13.3 Pb5.3 Zn2.5), низкий уровень загрязнения ( $8 < Z_c < 16$ ) в районах промышленных предприятий «Агрохимия» (Y3.2 Sc3.1 Ba2.6 Sr, Nb2.5 Cr, Yb2) и РСУ-2 (Cu5.6 Sn 3.3 Zn2.5). Низкий уровень загрязнения снега наблюдается в северной части города на повороте автодороги Саранск – Москва (Zn8.2 Ni5.5 Sc3.8 Mo3.4 Yb3.1 Sn2.8 V2.7 Y2.6 Be2.5 Pb, Cr, Ti2.4), что связано с влиянием автотранспорта, предприятий северной промышленной зоны и котельных.

Необходимо провести мероприятия по совершенствованию технологических процессов на заводе «Промсвязь», «Радиозаводе», ДОКе с целью понижения класса опасности. В настоящее время в зоны их влияния входят дома по улицам 1-я Рабочая, 2-я Рабочая, Школьная, Рабочая и Больничному переулку. Для дальнейшего развития промышленности рекомендуется сформировать новую зону в районе МСО. В эту зону предлагаем вынести маслозавод и прядильно-ткацкую фабрику.

При дальнейшем развитии северного района в направлении сел Старые Горяши и деревни Бобылевские Выселки необходимо создать километровую санитарно-защитную зону от расположенных там животноводческих комплексов.

**Пригородный (юго-западный) район** формируется на месте с. Пригородное, которое отделяется от Краснослободска долиной Жабки. Инженерно-геологические условия благоприятны для градостроительного освоения, но территориальное развитие жилого района ограничивается распространением в пригороде плодородных черноземов. При строительстве объездной автодороги федерального значения необходимо провести комплекс мероприятий по рекультивации земель и созданию лесозащитных полос.

Повышенную геоэкологическую опасность в этом районе представляют молочно-товарная ферма и автотранспортное предприятие. В зоне их влияния находится жилая застройка. Молочно-товарную ферму рекомендуется вынести из жилого района, а вокруг автотранспортного предприятия необходимо создать санитарно-защитную зону.

К юго-западу от сел Пригородное и Литва размещены радиоретранслятор, телевизионная вышка и полигон бытовых отходов. В случае развития пригородного района дальше на юго-запад жилые кварталы попадут в километровую зону их влияния.

**Примокшинский район** формируется на пойменной террасе (18-й тип геокомплексов) и пролювиальных конусах выноса (15-й тип геокомплексов). Слабая устойчивость грунтов обуславливает наличие определенных ограничений на размещение здесь инженерных сооружений. Кроме этого, нужно учитывать, что наивысший уровень воды р. Мокша у с. Шаверки, определенный по меткам высоких вод, составил 120,45 м (1926 г.). В соответствии с этим поселения Грачевники, Лаушки, Русские Полянки, Заречное и отдельные улицы Краснослободска располагаются в зоне геоэкологического риска затопления в пери-

оды весеннего половодья. Их развитие будет сопровождаться значительными затратами на защиту и ликвидацию последствий затопления, поэтому оно должно быть ограничено.

В результате строительства и эксплуатации автодорог в пойме Мокши вдоль коренного склона ее долины проявляются эффекты подтопления и заболачивания. Возведение защитных дамб может активизировать эти процессы вследствие застаивания вод, исходящих при разгрузке водоносных горизонтов по левому коренному склону долины Мокши. Необходимо создать условия для оттока вод под автодорогами. Для защиты от затопления и подтопления вдоль автодорог и других инженерных сооружений целесообразно формировать лесные посадки.

**Структура экологического каркаса.** Основными элементами природного (экологического) каркаса Краснослободска являются пойма Мокши, комплексы долин малых рек – ее левых притоков, а также крутые прибалочные и долинные склоны, включая урочище «Ямище». Пересеченный живописный ландшафт этих комплексов особенно благоприятен для рекреационного освоения. На геэкологически устойчивых (стабильных) к развитию оползневых процессов участках, возможно строительство капитальных сооружений – домов отдыха, санаториев, лыжных баз и т. д. Элементы экологического каркаса должны органично вписываться в долинный ландшафт Мокши, в котором находятся сравнительно хорошо сохранившиеся памятники природы.

Краснослободский район, особенно долина Мокши, характеризуется сравнительно высокой насыщенностью особо охраняемыми природными территориями. Самыми значимыми являются Сивинская лесная дача, озеро «Чурилка», болото «Соловьевское», Дубовая лесная дача «Кользивиановская», Селищенская дубовая роща, Краснослободская лесная дача, колония серой цапли вблизи с. Старое Зубарево, урочище «Чистое» (рис. 14). Важнейшим условием сохранения уникальных памятников природы является формирование системы особо охраняемых природных территорий с созданием условий вещественно-энергетического и информационного обмена (миграции животных, перенос семян растений, речной сток и т. д.).

**Состояние окружающей среды и здоровье населения.** Краснослободский район с индексом здоровья 52,6 % относится к территории с удовлетворительным уровнем здоровья населения. В настоящее время в условиях обострения социально-экономических, экологических и других проблем доля людей, обеспокоенных ростом загрязнения среды своего обитания, существенно увеличивается. Так, по данным анкетного опроса, из 10 приведенных обстоятельств (загрязнение окружающей среды, безработица, рост цен, алкоголь, наркотики, неизлечимые болезни, мафия, преступность, рэкет) загрязнение окружающей среды жители Краснослободска отнесли на 4-е место. 10 % респондентов в городе ощущают для себя опасность от экологической обстановки.

По вопросу о причинах сложившейся экологической ситуации мнения о приоритетах разделились. 23,7 % респондентов на первое место поставили недостаточное финансирование экологических программ, 21,1 % – неэффективную работу природоохранных служб, 16,6 % – неразвитость системы экологи-

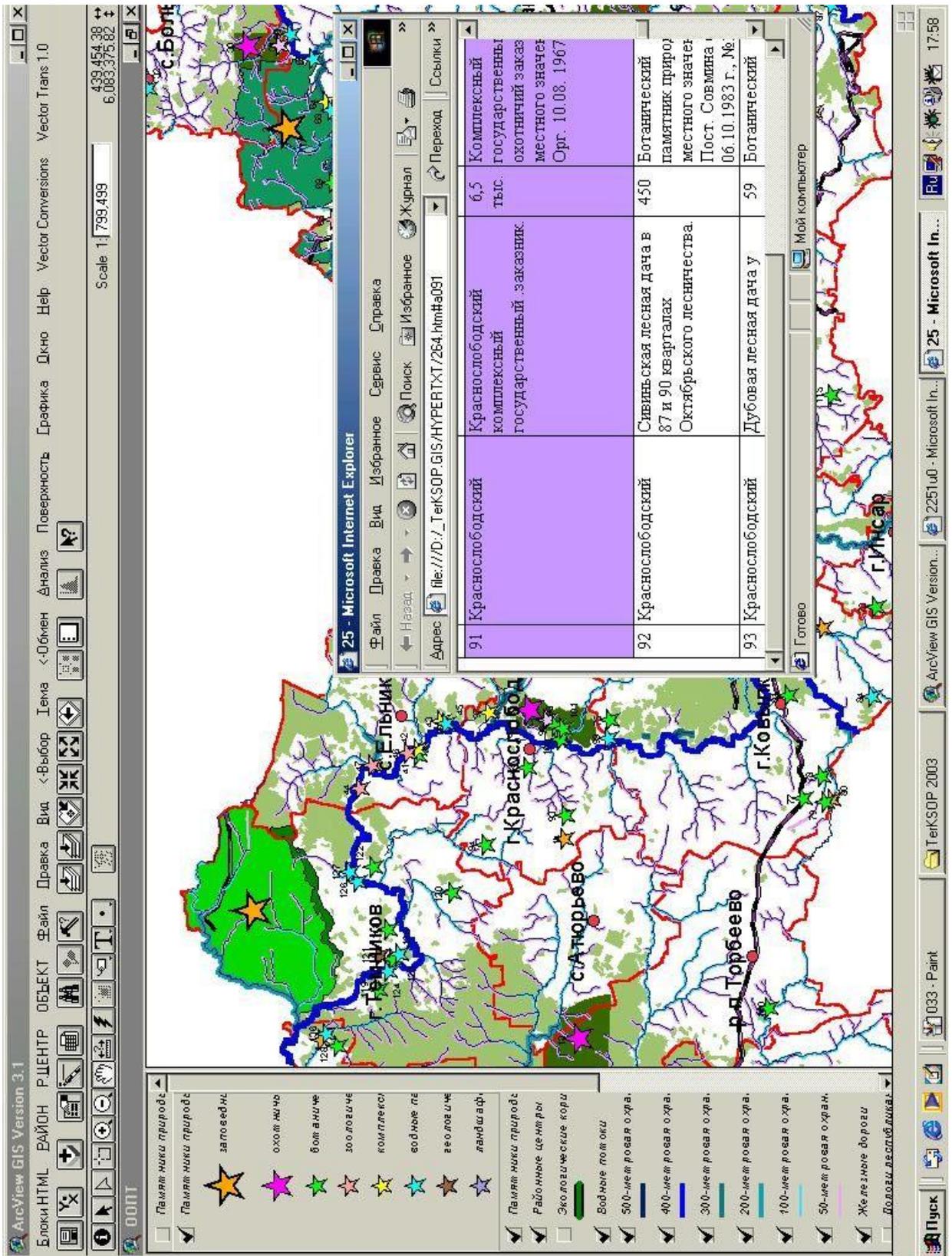


Рис. 14. ГИС «Мордовия»: пример работы с базой данных «Особо охраняемые природные территории»

ческого образования и воспитания, 7,9 % указали другое и у 28,9 % опрошенных данный вопрос вызвал затруднения в ответе.

Мнения о путях улучшения экологической обстановки также разделились. Большая часть ответивших (32,7 %) отметили на первом месте необходимость увеличения налогов с опасных производств и предусмотрение финансовых льгот для «чистых» предприятий. Примерно одинаковый процент набрали альтернативы: «увеличение финансирования природоохранных служб» и «увеличение штрафов с экологически вредных производств» (18,4 и 16,3 соответственно). Интересно то, что 14,3 % респондентов считают необходимым для улучшения качества среды проживания каждому человеку сделать что-то конкретное (очистить родник, посадить дерево и т. д.). Характерной особенностью является то, что этот вопрос у респондентов затруднений почти не вызывал. Лишь 6 % опрошенных затруднились дать ответ.

Непосредственным следствием роста экологической напряженности является ухудшение качества жизнеобитания людей, что приводит к изменению уровня и структуры здоровья различных социальных групп. Поскольку здоровье является фундаментальной потребностью, неудивительно, что население отдает ему приоритет в перечне основных ценностей. Анализ анкетных данных показывает, что здоровье как ценность относят на первое место 61 % опрошенных жителей района.

Основными факторами, влияющими на депопуляцию местного населения Краснослободска, являются снижение рождаемости, увеличение смертности и неблагоприятная миграционная ситуация. Основными факторами, обуславливающими снижение численности, служат социально-экономический кризис, который «стимулирует» откладывание браков и заведения молодыми парами второго и третьего ребенка, и миграционный отток в основном лиц детородного возраста. Учитывая, что идет увеличение в возрастной структуре доли лиц пожилого возраста, можно предположить дальнейшее увеличение показателя смертности. Тем не менее из-за миграционной прибыли численность населения города к 2008 г., на наш взгляд, возрастет и составит 12 700 человек, а при варианте включения в состав города сел Пригородное и Старые Горяши, а также деревень Литва, Бобылевские Выселки, Грачевник, Лаушки и Русские Полянки она может возрасти до 14 700 человек.

В целом уровень здоровья населения характеризуется как удовлетворительный. Тем не менее в структуре обращаемости жителей в лечебные учреждения отмечаются повышенные показатели относительно средних значений по республике у взрослого населения в связи с заболеваниями костно-мышечной системы, соединительной ткани, мочеполовой системы и онкологической заболеваемостью, детского – с болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани. Основным лимитирующим экологическим фактором в формировании уровня и структуры здоровья жителей является качество подземных вод, используемых для питья. В 23 % эксплуатируемых скважин, как отмечалось выше, содержание фтора не соответствует нормативным показателям. Кроме того, неблагоприятная ситуация с точки зрения влияния на здоровье населения сложилась в центральной части города. Здесь на территории,

примыкающей непосредственно к селитебной застройке, в структуре загрязнителей преобладают свинец, цинк, медь.

Ухудшение состояния здоровья населения Краснослободска беспокоит довольно сильно. Здоровье как ценность большая часть жителей города относит на первое место. Загрязнение окружающей среды как опасность они отнесли на четвертое место. В снижении смертности около трети респондентов вторым по значимости (после изменения экономической политики) путем считают улучшение экологической обстановки. Таким образом, люди косвенно связывают ухудшение экологической обстановки со своим здоровьем.

### **3.5.2. Сельскохозяйственные природно-социально-производственные системы**

Сельскохозяйственные природно-социально-производственные системы используются с ранних периодов хозяйственного освоения ландшафтов. Различные аспекты сельскохозяйственной деятельности в разных типах ландшафтов исследовали В. А. Ковда, В. Г. Крючков, В. Е. Прока, К. В. Зворыкин, В. М. Чупахин и М. В. Андришин, Г. И. Швобс, В. А. Николаев и др. Основными задачами геоэкологического изучения и паспортизации сельскохозяйственных ландшафтов являются определение масштабов, необходимости, очередности проведения мероприятий по охране земель и организация контроля за их состоянием. Сложность задачи изучения последствий сельскохозяйственного освоения ландшафтов заключается в том, что кроме отраслей сельскохозяйственного производства на состояние агроландшафтов оказывают влияние практически все типы хозяйственной деятельности: промышленность (горнодобывающая, энергетическая, металлургическая, машиностроение, химическая, строительных материалов, легкая), транспорт (автомобильный, железнодорожный, водный, трубопроводный), строительство (промышленное, сельскохозяйственное, транспортное, гражданское), коммунально-бытовое хозяйство, лесное хозяйство, водное хозяйство.

Важнейшим объектом геоинформационного картографирования является структура землепользования: доля сельскохозяйственных угодий, пашни, сенокосов, пастбищ и т.д. (рис. 15).

Ухудшение геоэкологической ситуации в агроландшафтах в процессе их сельскохозяйственного освоения теснейшим образом связано с особенностями и устойчивостью литогенной основы. Сельскохозяйственное использование земель часто сопряжено с активизацией эрозии, суффозии, дефляции песчаных почв, карстообразования. Развитие деструктивных геоэкологических процессов определяет уменьшение площади сельскохозяйственных земель. В то же время могут проявляться процессы, изменяющие их качество: загрязнение почв радиоактивными веществами, тяжелыми металлами, кислотами, щелочами, нефтепродуктами, минеральными удобрениями, пестицидами, бактериями и вирусами; изменение водного режима под влиянием гидротехнических систем – заболачивание и подтопление.

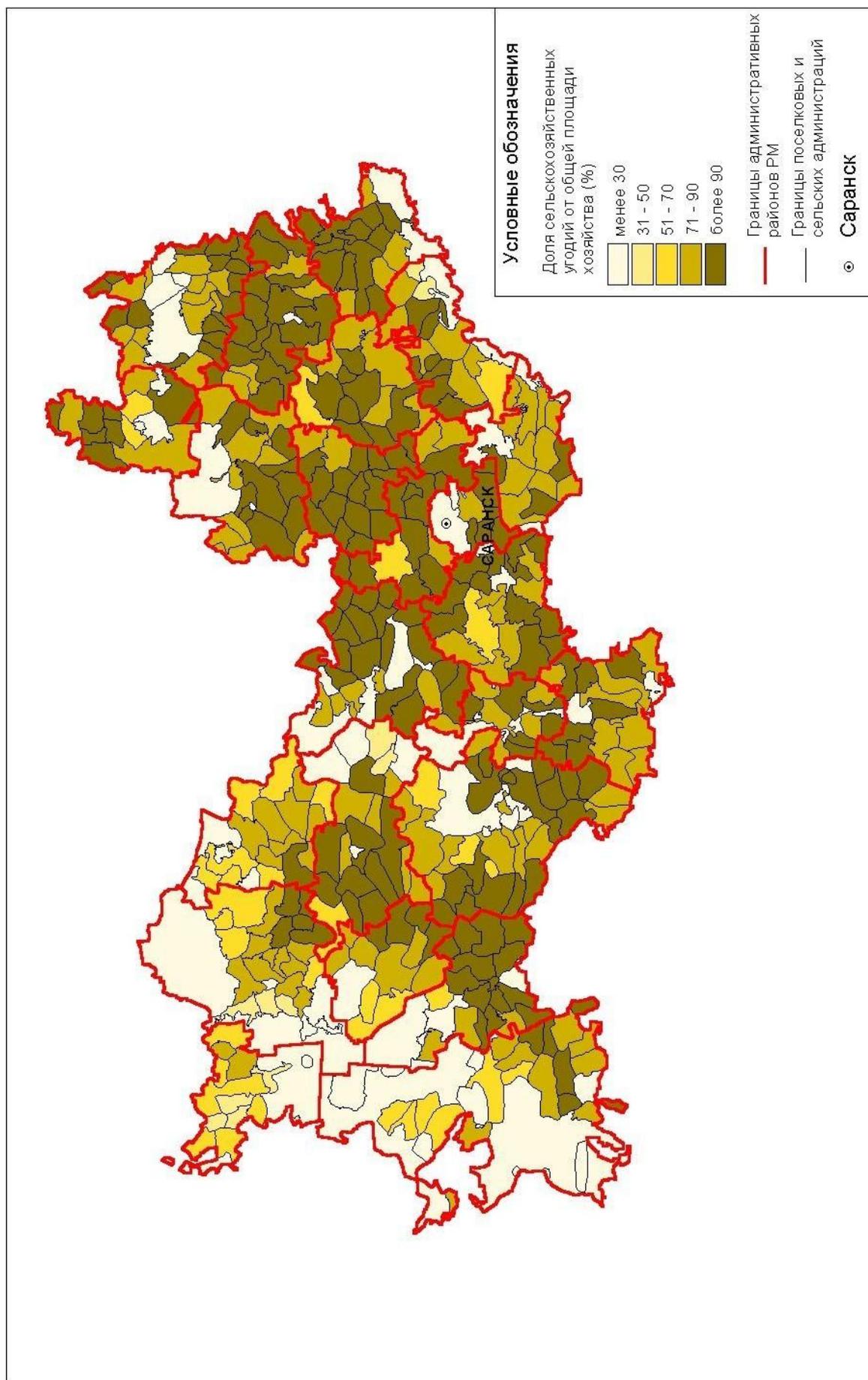


Рис. 15. ГИС «Мордовия»: доля сельскохозяйственных угодий от общей площади хозяйств

Сельскохозяйственное освоение земель без учета особенностей ландшафтов сопровождается снижением плодородия почв, нарушением их структуры, вымыванием гумусного слоя, иссушением почв, изменением уровня грунтовых вод, образованием оврагов, снижением урожайности сельскохозяйственных культур. Нерациональное использование земель вызывает изменение экологических параметров экосистем, способности почв к самоочищению, нарушение экологического и биологического равновесия в почве, сокращение площадей, покрытых растительностью, ухудшение ее видового состава, снижение качества сельскохозяйственной продукции и как следствие – ухудшение состояния здоровья населения.

Хозяйственное освоение часто снижает природный потенциал сельскохозяйственного ландшафта. Особенно негативно отзываются: бесконтрольная вырубка леса, несоблюдение агротехнических правил обработки почв, нарушения при орошении земель, неумеренный выпас скота, неупорядоченное движение транспорта, превышение норм внесения удобрений и пестицидов, недостаточное количество и плохое качество зеленых насаждений, невыполнение рекультивационных работ при добыче полезных ископаемых, отсутствие навозохранилищ и отстойников или их недостаточная мощность, подтопление земель в результате орошения и строительства гидротехнических сооружений, заиление малых рек и зарегулирование их стока, распашка земель до берега, пересыхание малых рек, неупорядочение свалок, изъятие земель для строительства городов и других населенных пунктов, дорог и др.

В качестве типовых мероприятий по стабилизации и разрешению геоэкологических ситуаций в агроландшафтах в базы данных региональной ГИС включается информация о структуре использования земель, внедрении безотходных технологий, строительстве очистных сооружений, соблюдении правил и норм захоронения отходов, хранения минеральных удобрений, совершенствовании существующей организации территории, рекомендации по внедрению технологий, обеспечивающих улучшение плодородия почв, регулировании выпаса скота, создании лесных полос, выполаживании и засыпке оврагов.

При сельскохозяйственном освоении ландшафтов необходимо предусматривать комплекс мероприятий по уходу за ними:

- агротехнические – противоэрозионная обработка почв (безотвальная, контурная вспашка, бороздование, лункование, щелевание, обработка почв поперек склонов, снегозадержание), применение почвозащитных севооборотов;
- лесо- и лугомелиоративные – устройство лесных полос (водорегулирующих, поле- и почвозащитных, прибалочных, приовражных, прирусловых, ветроломных, придорожных), фитомелиорация песчаных массивов, облесение эродированных и заовраженных земель, задернование крутых склонов;
- гидротехнические – устройство сооружений по зарегулированию поверхностного стока, по предотвращению размыва балок и роста оврагов;

Создание культурного агроландшафта направлено на повышение плодородия почв, улучшение качества сельскохозяйственной продукции.

### 3.5.3. Лесохозяйственные природно-социально-производственные системы

Лесохозяйственные природно-социально-производственные системы включают лесовосстановительные мероприятия, вырубку лесов и лесоперерабатывающие предприятия. Особенности функционирования лесохозяйственных систем изучали П. С. Погребняк, Л. Бауэр и Х. Вайничке, В. Б. Сочава, Г. Б. Паулюкявичюс и др. Важнейшими задачами исследования лесохозяйственных ландшафтов являются определение степени необходимости охраны растительности и животного мира, очередности проведения охранных мероприятий, организация особо охраняемых природных территорий, оценка продуктивности диких животных и регулирование сроков охоты.

На лесохозяйственных ландшафтах сказывается функционирование отраслей сельскохозяйственного производства, организаций, занимающихся заготовкой, переработкой и реализацией сельскохозяйственной продукции, промышленности (особенно предприятий химической и мебельной отраслей), строительной индустрии, а также туризм и рекреационное использование.

Сведение лесов сопровождается значительной трансформацией ландшафтов, отражающейся на состоянии не только биогенных, но и гидроклиматогенных и литогенных компонентов. Физическое истребление лесов происходит в процессе сельскохозяйственного освоения, строительства городов, промышленных объектов. Вблизи производственно-территориальных комплексов происходят качественные и количественные изменения состояния растительности, вызванные засорением территории (городскими и строительными свалкам, продуктами неорганизованного отдыха), загрязнением экосистем тяжелыми металлами, пестицидами и пр. Катастрофический характер может приобретать уничтожение лесов пожарами. Однако чаще протекают медленные процессы трансформации лесных ландшафтов: сведение ягодников, грибов, ценных растений, увеличение численности и разнообразия видов вредителей лесов, исчезновение ценных и редких видов растений, изменение ареалов обитания редких и исчезающих видов растений и животных, гибель животных и рыб, распространение животных с нарушенными физиологическими функциями организма. Перечисленные и многие другие следствия нерационального лесохозяйственного освоения ландшафтов сопровождаются ухудшением условий жизни и отдыха людей.

Прямое нарушение лесохозяйственных ландшафтов происходит в результате нерациональной эксплуатации лесов, нарушения использования лесосечного фонда, неумеренного выпаса скота, нарушения правил заготовки сена, бесконтрольного сбора лекарственных растений, превышения рекреационной нагрузки лесов, недостаточного контроля лесных территорий, нарушения правил пожарной безопасности.

Оптимизация лесохозяйственных систем предусматривает внедрение адекватных технологических процессов: проведение лесокультурных и лесоустроительных работ; занесение редких и исчезающих видов растений и животных в Красную книгу; защиту лесов от вредителей и болезней, предупреждение пожаров; предотвращение подтопления, заболачивания лесов; регули-

рование выпаса скота; установление норм сенокошения; изъятие лесов из хозяйственного использования.

В планировании культурных ландшафтов необходимо предусматривать устройство защитных лесных полос вокруг населенных пунктов, промышленных предприятий, в зонах отдыха, сельскохозяйственного производства. Актуально восстановление лесов по видам лесопользования, защитное лесоразведение по оврагам и балкам, берегам рек и водоемов, на песках, неудобных землях, горных разработках, крутых склонах, посадка водорегулирующих лесов, рубки ухода в молодняках, обогащение животного мира.

#### **3.5.4. Промышленные и транспортные природно-социально-производственные системы**

Промышленные и транспортные геотехнические системы осуществляют переработку и перемещение природно-сырьевых ресурсов. В зонах их функционирования происходит коренная перестройка геоконплексов. Методические подходы к изучению промышленных и транспортных ГТС изложены в работах Ф. Н. Милькова, В. И. Федотова, М. А. Глазовской и др. Геоэкологическое исследование геотехнических систем в аспекте хозяйственного освоения ландшафтов направлено на оптимизацию их размещения, определение зон влияния промышленных предприятий на окружающую среду, установление очередности проведения мероприятий по охране природы, выявление экологических ограничений развития ГТС.

Промышленные и транспортные системы активно взаимодействуют со всеми типами хозяйственного освоения ландшафтов и являются наиболее значительными факторами изменения геоконплексов. Обострение геоэкологической ситуации может быть связано с особенностями литогенной основы ландшафтов (геологической среды) и несовершенством технических и технологических систем, обуславливающих неполную переработку полезных ископаемых, выбросы и сбросы загрязняющих веществ, несоблюдение правил захоронения отходов, отсутствие рекультивационных работ. Особенности функционирования этих систем определяют развитие в зонах влияния таких деструктивных геоэкологических процессов, как нарушение литогенной основы ландшафтов организацией карьеров, насыпей, отвалов, загрязнение атмосферы, трансформация почв (уничтожение почвенного слоя, иссушение почв), изменение водного режима (ухудшение естественной системы дренажа, понижение уровня грунтовых вод, их загрязнение).

При формировании базы данных нужно учитывать, что экологически безопасное промышленное освоение ландшафтов связано с модернизацией технологических процессов, поэтому в нее должна включаться информация о ресурсосберегающих технологиях при использовании воды, внедрении безотходных технологий, сокращении выбросов в атмосферу. В проектировании культурного ландшафта важнейшими аспектами являются рекультивация земель, нанесение почвенного слоя (интенсификация почвообразования), развитие системы лесонасаждений, отграничивающих промышленные и транспортные системы от се-

литебных, сельскохозяйственных и прочих с целью улучшения здоровья населения и создания комфортной среды.

В качестве примера геоэкологического анализа промышленных и транспортных систем рассмотрим район планируемого строительства Мордовской государственной районной электростанции (ГРЭС) и участок трассы автодороги с. Козловка – с. Чукалы-на-Вежне – с. Низовка.

**Общая характеристика района планируемого строительства Мордовской ГРЭС.** Площадка строительства Мордовской ГРЭС располагается в долине реки Мокши вблизи поселка Новое Мамангино (Ковылкинский район) – между населенными пунктами Рыбкино и Новое Лепьево, Самозлеевка и Новое Мамангино (рис. 16).

Мокша является главной водной артерией не только района строительства, но и в целом западной части Мордовии. Долина Мокши и прилегающие междуречные пространства на территории республики характеризуются сложным взаимодействием лесостепных и лесных (таежных и широколиственных лесов) ландшафтов.

В административно-территориальном отношении площадка расположена в западной части Мордовии – Ковылкинском районе, граничащем с Торбеевским, Атюрьевским, Краснослободским, Кадошкинским и Инсарским районами. Ближайшая железнодорожная станция – Токмово – расположена в 28 км к югу от Нового Мамангина. На западе от промышленной площадки проходит автодорога общего пользования Ковылкино – Краснослободск.

Геологическую среду полигона строительства ГРЭС и смежных территорий формируют каменноугольные, юрские, меловые и четвертичные отложения. Каменноугольные горные породы (гжельский ярус) выходят на дневную поверхность севернее полигона в долинах Мокши и Сивини. Они сложены в основном светло-серыми и желтоватыми, преимущественно тонкопористыми органогенно-шламмовыми известняками, измененными в различной степени в результате вторичных процессов перекристаллизации и доломитизации, вплоть до перехода их в плотные и крепкие яснокристаллические разности известняков и довольно слабые, нередко даже мучнистые и песчаниковидные разности доломитов. Юрские отложения повсеместно перекрывают каменноугольные горные породы. На выделенной площадке они представлены средним (байосский, батский ярусы) отделом, а к востоку и левому коренному борту Мокши распространены отложения келловейского яруса и верхнеюрские образования (оксфорд-кимериджский ярус). Преобладающая часть толщи сложена песчано-глинистыми породами с прослоями песчаников и желваками песчанистых фосфоритов, а в верхней части – плотными известковистыми глинами с прослоями мергеля. Общая мощность юрских отложений на территории полигона составляет около 30 м. Нижнемеловые отложения (готеривский и барремский ярусы) слагают водораздельные и приводораздельные пространства к востоку от полигона и по левобережью Мокши. В нижней части геологического разреза отмечается мощная толща сланцеватых глин с подчиненными им пачками глинистых песков. Выше по разрезу они сменяются песчаными отложениями, перекрываемыми небольшой свитой глин апта.



Коренные горные породы повсеместно перекрываются четвертичными образованиями мощностью до 25 м. Они представлены сложным комплексом ледниковых отложений – моренными суглинками и водно-ледниковыми песками на междуречных пространствах, современными и древнеаллювиальными – в долинах рек.

На территории проектируемой ГРЭС по гидрогеологическим особенностям и условиям залегания водовмещающих пород выделяются следующие водоносные горизонты: водоносный современный аллювиальный горизонт; водоносный верхнечетвертично-современный аллювиальный горизонт; слабоводоносный среднечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный горизонт; водоносный готерив-барремский терригенный горизонт; локально слабоводоносный оксфорд-кимериджский терригенный горизонт; водоносный, локально-водоносный нижнекелловейский терригенный горизонт; слабоводоносный батский терригенный горизонт; водоносный верхнекаменноугольный карбонатный горизонт.

Проведенный геоэкологический анализ зоны свободного водообмена полигона строительства Мордовской ГРЭС показал наличие высокой гидравлической связи между поверхностными и подземными водами. Об этом свидетельствуют местоположение полигона в территориальной близости от основной области питания карбонатного каменноугольно-пермского водоносного горизонта и наличие литологических «окон» в перекрывающих отложениях. В качестве дополнительных аргументов о возможном техногенном загрязнении подземных вод могут выступать следующие.

1. По наблюдениям гидрогеологов, в засушливые годы, например в сильную засуху 1939 г., пересыхали не только небольшие водоносные горизонты, но даже и более крупные, приуроченные к нижнемеловым отложениям.

2. В зоне действия геотехнических систем г. Ковылкино отмечено возрастающее снижение уровня подземных вод батского водоносного горизонта, что свидетельствует о взаимосвязи подземных вод карбона с вышележащим батским горизонтом.

3. Выполненное специалистами Мордовского гидрогеологического участка моделирование влияния геотехнических систем Саранска показало, что в районе предполагаемого строительства ГРЭС оно приведет к снижению уровня на 35 – 40 м, что усилит переток незащищенных вод батского горизонта в подземные воды карбона и, следовательно, повысит вероятность загрязнения основного водоносного горизонта.

В центральной части Мордовии, примыкающей к полигону строительства ГРЭС, находится целый ряд преимущественно очень пологих антиклинальных и брахиантиклинальных поднятий флексуроподобного типа, которые образуют довольно широкую полосу или зону сурско-мокшанских дислокаций северо-северо-западного простирания.

Полигон проектируемой ГРЭС располагается на пересечении линеаментов, выявленных на основе дешифрирования космических снимков. Вероят-

ность их влияния на состояние геотехнических систем подлежит проверке и уточнению геофизическими работами и глубоким бурением. В первую очередь эти работы следует провести в районах размещения основных объектов ГРЭС.

Долина Мокши в районе проектируемого строительства имеет ширину до 20 км и характеризуется резко выраженным асимметричным строением. Она имеет крутой и высокий левый коренной берег и очень пологий, с тремя хорошо выраженными надпойменными террасами правый.

Пойма Мокши характеризуется абсолютными отметками 118 – 122 м и поднимается над уровнем реки на 5 – 7 м, а песчаные гривы, преимущественно эолового происхождения, – до 10 – 11 м. Ширина поймы от 3 до 5 км. По характеру морфологического строения она подразделяется на прирусловую, центральную и притеррасовую.

Долины Рябки и ее притоков сформированы в древнеаллювиальных образованиях надпойменных террас Мокши. В долине Рябки выделяются пойма и одна надпойменная терраса, которая по своему гипсометрическому положению соответствует первой надпойменной террасе Мокши.

К востоку от долины Мокши простирается водно-ледниковая равнина, абсолютные отметки которой достигают 200 м. Ее краевая часть сильно расчленена лощинами и балками. По левому берегу реки протягивается левый коренной борт долины высотой 80 – 90 м, характеризующийся значительной крутизной (до 30 – 40 %) и пересеченным рельефом. К западу от ее долины простираются краевые части водораздельного плато, сильно расчлененные многочисленными сравнительно глубокими долинами, балками и оврагами, в которых довольно часто вскрываются коренные мезозойские горные породы. Активность геоэкологических процессов особенно значительна в местах непосредственного подхода к коренному склону Мокши – у сел Рыбкино, Шаверки, города Краснослободск и др.

Река Мокша может стать основным источником поверхностных вод для ГРЭС. Кратковременные наблюдения за гидрологическим режимом велись в створе с. Кочелаво в связи со строительством низконапорной плотины для гидромелиоративных целей. Площадь водосбора в створе г. Ковылкино составляет 9 762 км<sup>2</sup>. Режим реки в естественных условиях здесь незначительно отличается от режима в створе г. Темников. В настоящее время сток реки зарегулирован построенной в 1987 г. плотинной Токмовского гидроузла. Изменение естественного режима проявляется в отъеме части весеннего стока (на спаде половодья) для заполнения чаши созданного водохранилища. Его объем составляет 2,66 млн м<sup>3</sup>. Норма годового стока Мокши  $Q_0 = 33,2$  м<sup>3</sup>/с, объем  $W_0 = 1\,047,8$  млн м<sup>3</sup> в год, коэффициент вариации  $C_v = 0,32$ , отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации  $C_s/C_v = 0,6$  [Водные ресурсы..., 1999]. В районе исследований Мокша принимает в себя с правой стороны небольшие речки, наиболее крупными из которых являются Рябка и Серляй.

На территории планируемого строительства наибольшее распространение имеют дерново-подзолистые, серые лесные, аллювиально-дерновые, аллюви-

ально-болотные и торфяно-болотные почвы. Меньшее распространение имеют почвы овражно-балочного комплекса и слабогумусированные пески.

Полигон расположен на границе лесостепных комплексов, широколиственных и смешанных лесов.

Наиболее распространенная формация – сосновые леса, относящиеся к группе широколиственно-сосновых или подтаежных широколиственно-сосновых. Сосняки доминируют по надпойменным террасам. По вершинам песчаных дюн, склонам южной экспозиции встречаются сосняки-беломошники, сменяющиеся к понижениям сосняками-зеленомошниками и сосняками-долгомошниками. Места наибольшего увлажнения по междюнным понижениям, окраинам сфагновых болот заняты низкобонитетными сосняками сфагновыми. На хорошо дренированных участках, где пески подстилаются суглинками, произрастают сосняки сложные, в составе древостоев которых участвуют липа, дуб, береза, осина, клен остролистный.

Широколиственные леса распространены преимущественно на аллювиально-водно-ледниковой и вторичной моренной равнине. В их структуре преобладают дуб, липа, клен остролистный, изредка встречаются ясень и вяз. Наиболее распространены такие типы дубрав, как кленово-липово-снытевая, кленово-липовая разнотравная, кленово-осоково-злаковая. Липовые и дубово-липовые леса чаще произрастают по склонам оврагов и крутым берегам долин лесных речек.

Значительное распространение имеют вторичные и производные мелколиственные леса. На участках сведенных сосновых лесов в наиболее увлажненных местах преимущественно развиваются березняки из березы повислой и березы пушистой. Осинники сформировались на месте дубрав. В притеррасных понижениях долины Мокши, а также по долинам малых рек и балкам распространены небольшие участки черноольховых лесов.

На территории полигона присутствуют как пойменные (заливные), так и суходольные (материковые) луга. Последние встречаются по опушкам лесов, крутым склонам и представлены злаково-разнотравными травостоями из мятлика лугового, овсяницы красной, костреца берегового, овсеца опушенного. Довольно разнообразна болотная растительность.

**Морфологическая структура ландшафтов.** Особенности пространственной структуры геокомплексов и их устойчивость к техногенному воздействию определяются литогенной основой ландшафтов, ведущую роль в формировании которой сыграли эрозионные, аккумулятивные, склоновые, суффозионные и эоловые процессы.

Долина Мокши имеет асимметричное строение. Левый коренной ее склон крутой, сменяющийся к западу лесостепными ландшафтами вторичной моренной равнины Мокша-Вадского междуречья. В низменном правобережье выделяются местности надпойменных террас, аллювиально-водно-ледниковых и зандровых равнин (рис. 17).

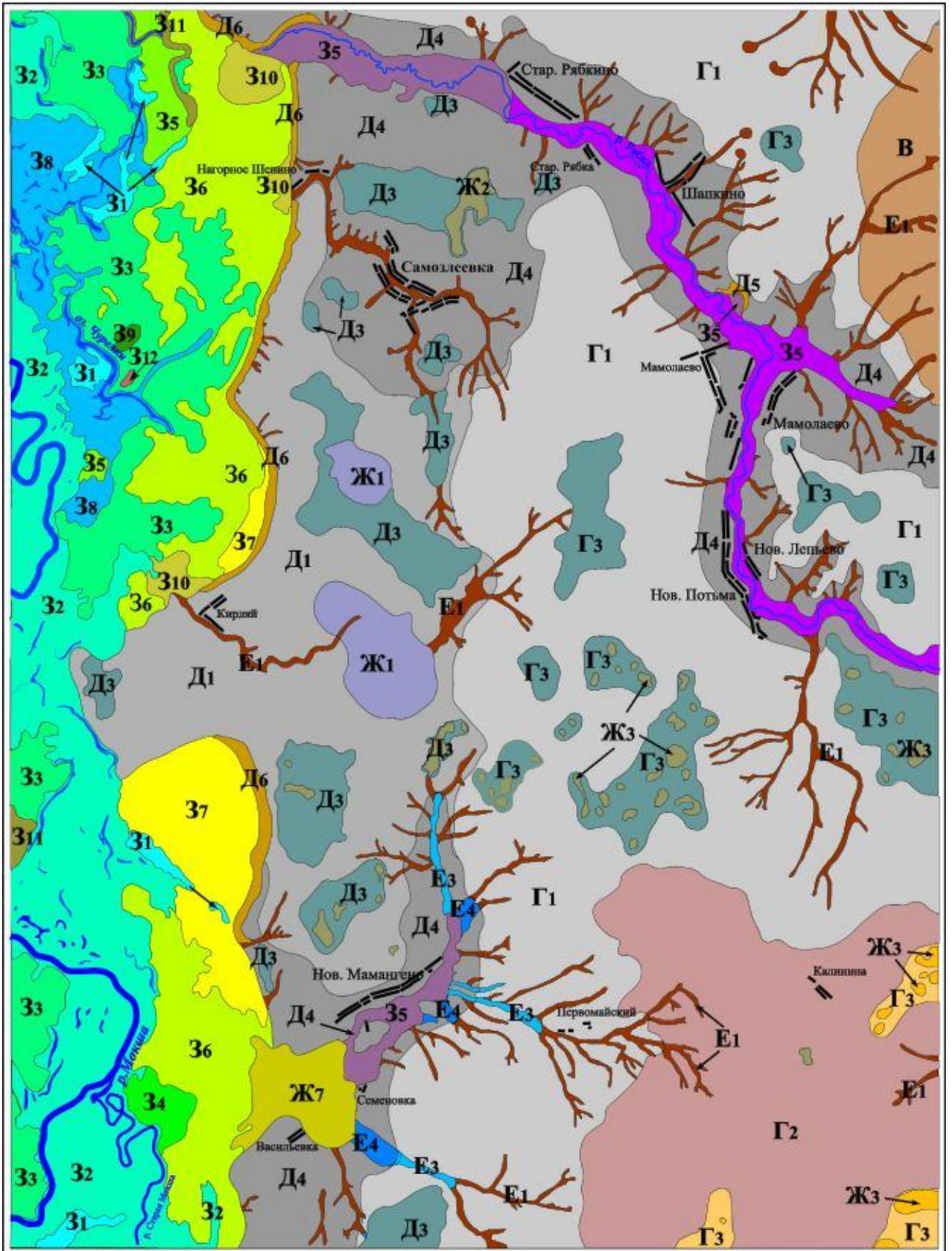


Рис. 17. Ландшафтная карта района планируемого строительства Мордовской ГРЭС

**А. Местность вторичной моренной равнины** распространена в левобережье Мокши, вне зоны прямого воздействия ГРЭС. Поэтому ее исследование проводилось рекогносцировочными маршрутами.

Краевая часть вторичной моренной равнины, прилегающая к долине Мокши, расчленена глубокими балками и долинами малых рек. Абсолютные отметки высот рельефа – от 130 до 210 м. Местность сложена маломощными делювиальными суглинками, подстилаемыми гляциальными и песчаноглинистыми отложениями нижнего мела. Формирование природных территориальных комплексов определяется активным развитием склоновых процессов. В структуре почвенного покрова преобладают серые лесные и черноземные почвы. Естественная растительность представлена небольшими байрачными дубравами и суходольными лугами.

В морфологической структуре ландшафта выделены следующие геокомплексы: 1) пологоволнистые поверхности водораздельных пространств крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и элювиально-делювиальными отложениями со светло-серыми и серыми лесными легкосуглинистыми почвами, с небольшими массивами дубрав; 2) пологоволнистые поверхности водораздельных пространств крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и элювиально-делювиальными отложениями с оподзоленными черноземами и темно-серыми лесными тяжело- и среднесуглинистыми почвами, с небольшими массивами дубрав; 3) выпуклые поверхности средних участков склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами; 4) нижние участки склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами среднесуглинистого механического состава; 5) нижние участки склонов крутизной до  $2^\circ$ , сложенные гляциальными и делювиальными суглинками с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами среднесуглинистого механического состава; 6) слабонаклонные поверхности придолинных склонов крутизной до  $2^\circ$ , сложенные лессовидными и делювиальными суглинками с выщелоченными черноземами тяжелосуглинистого механического состава; 7) наклонные поверхности придолинных склонов крутизной  $2 - 5^\circ$ , сложенные делювиальными суглинками с выщелоченными черноземами тяжелосуглинистого механического состава;

**Б. Местность левого коренного борта долины Мокши** отличается наличием крутых склонов, расчлененных многочисленными балками и долинами малых рек. На крутых склонах и бортах эрозионных форм часто вскрываются нижнемеловые породы, а также флювиогляциальные, делювиальные и оползневые накопления. Активно развиваются оползневые, оплывинные и эрозионные процессы. По динамическим характеристикам урочища крутых склонов подразделяются на следующие геокомплексы: 1) крутые активные склоны вогнутой формы верховий временных и постоянных водотоков; характерны активная регрессивная эрозия, выходы родников, развитие оползневых и оплывинных процессов; 2) крутые проксимальные (остаточные) выпуклые в плане склоны с интенсивным дренированием и низким положением уровня подзем-

ных вод; преобладают дефлюкционные и осыпные процессы; 3) крутые ровные в плане склоны долин малых рек с активным развитием боковой эрозии, дефлюкции и оползней; 4) крутые вогнутые (регрессивные) коренные склоны долины Мокши с частыми выходами на поверхность источников мочажинного типа, способствующих развитию оползневых процессов, а также дефлюкции; 5) крутые выпуклые (проксимальные) коренные склоны с редкими выходами на поверхность источников мочажинного типа, относительно устойчивые; 6 – террасовидные поверхности.

**В. Местность водно-ледниковой (зандровой) равнины** занимает верхнюю гипсометрическую ступень с абсолютными отметками от 170 до 220 м в северо-восточной части полигона. Она сложена маломощными водно-ледниковыми песками, подстилаемыми нижнемеловыми песчано-глинистыми отложениями, реже моренными суглинками. Особенности литогенной основы ландшафтов определяют преобладание нисходящих движений гравитационных, грунтовых и подземных вод с частичной их разгрузкой в верховьях ложинно-балочной сети. В структуре почвенного покрова мозаично сочетаются светло-серые, дерново-подзолистые и подзолистые песчаные, супесчаные, реже песчанисто-легкосуглинистые почвы. В естественной растительности преобладают дубовые, дубово-липовые и мелколиственные леса.

**Г. Местность аллювиально-водно-ледниковой равнины** занимает возвышенную восточную периферию района полевых исследований. Абсолютные отметки варьируют в интервале от 160 до 170 м. Литогенная основа геоконплексов сложена разнозернистыми песками, подстилаемыми песчано-глинистыми породами нижнемелового (готеривский ярус) и верхнеюрского (келловейский ярус) возрастов. Характерно нисходящее движение грунтовых водных масс в сочетании со значительным латеральным оттоком. На северо-восточном участке весной и во время дождей подземные воды часто выходят на дневную поверхность в сравнительно густой и глубокой ложинно-балочной сети. В юго-восточной части полигона местность имеет меньшую эрозионную расчлененность. В глубине междуречных пространств распространены урочища с западинами суффозионного происхождения. В структуре почвенного покрова характерно сочетание серых лесных и дерново-слабо- и среднеподзолистых почв. В естественной растительности преобладают смешанные леса с участием сосны, липы, дуба, березы и осины.

В составе географической местности выделены следующие урочища: 1) пологие склоны (менее 3°) расчлененные ложинами и балками, сложенные мощными песками с дерново-подзолистыми, дерново-подзолистыми глееватыми песчаными и супесчаными почвами с сосняками лишайниковыми, зеленомошно-брусничными, березово-осиновыми зеленомошными, березовыми и березово-осиновыми мелкотравными лесами; 2) пологие склоны (менее 2°) с неглубокими ложинами, тальвегами временных водотоков и западинами, сложенные песками с дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами под сухотравными борами (сосновые, березово-сосновые, сосново-березовые и березовые леса); 3) слабоволнистые поверхности с западинами, сложенные песками, супесями и пылеватыми песками с дерново-подзолистыми и торфяно-

глеевыми почвами под смешанными и сосновыми лесами, осинниками и березняками.

**Д. Местность надпойменных террас** субмеридионально протягивается в центральной части района исследования. В этой местности планируется разместить основные объекты ГРЭС. Абсолютные отметки варьируют от 120 до 160 м. Литогенная основа ландшафтов сложена преимущественно древнеаллювиальными песками, супесями и пылеватыми песками. Отложения обладают хорошими фильтрационными свойствами. Эти особенности обуславливают активное развитие суффозионных процессов, что проявляется в довольно широком распространении бессточных западин и котловин. Именно с развитием суффозионных процессов связаны, вероятно, и фрагменты крутых уступов террас к пойме Мокши. Характерной чертой этой местности является также широкое распространение дюнообразных форм рельефа. В морфологии ландшафтов довольно хорошо выражена фациальная микропоясность.

В составе местности выделены следующие урочища: 1) слабоволнистые поверхности верхней надпойменной террасы с неглубокими лощинами и тальвегами, сложенные мощными толщами песка с серыми лесными, слабоподзолистыми и дерново-слабоподзолистыми песчаными почвами под сосняками вейниковыми и мелколиственными лесами; 2) бугристые поверхности с многочисленными древнеэоловыми формами рельефа и суффозионными западинами, со слабоподзолистыми и слаборазвитыми песчаными почвами под борами-беломошниками, борами-зеленомошниками, борами-долгомошниками, березняками и осинниками; 3) волнистые поверхности с широким распространением замкнутых и полузамкнутых суффозионных западин, сложенные мощными толщами песка, супесей, пылеватых супесей со слабоподзолистыми супесчаными и торфянисто-глеевыми почвами под сложными сосняками и мелколиственными лесами; 4) пологие склоны (менее 2°), расчлененные лощинами и балками, сложенные аллювиально-делювиальными песками, часто подстилаемыми с глубины 1,5 – 2,0 м песчано-глинистыми отложениями, с серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами преимущественно под смешанными лесами и березняками; 5) нижние участки пологих склонов (менее 2°), расчлененные лощинами и балками, сложенные аллювиально-делювиальными песками с серыми лесными почвами под дубравами и березняками; 6) крутые склоны, сложенные песками, расчлененные короткими, но глубокими лощинами, с дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами под сосняками, дубняками, осинниками и березняками.

**Е. Природные территориальные комплексы овражно-лощинно-балочной сети** подразделяются на следующие урочища: 1) неглубоко врезанные лощины с сырыми днищами, дерново-подзолистыми глеевыми и дерново-глеевыми супесчаными и суглинистыми почвами под осиново-широколиственными лесами; 2) балки разной степени дренированности с ручьями (балочные долины ручьев), часто врезанными в днища, сложенные аллювиально-делювиальными песчаными, супесчаными, суглинистыми отложениями с дерново-грунтово-глеевыми, по склонам – со смыто-намытыми почвами под осиново-черноольховыми с ивой влажнотравно-щучково-осоковыми фито-

ценозами; 3) балки сырые под влажнотравно-злаковыми лугами и осиново-широколиственными папоротниково-широкотравно-влажнотравными лесами на дерново-поверхностно-глееватых и дерново-грунтово-глеевых почвах; 4) балки заболоченные под черноольхово-широколиственными болотнотравно-осоковыми лесами на перегнойных поверхностно-глеевых и торфянисто-подзолистых поверхностно-оглеенных почвах различного механического состава, залегающих на водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях.

**Ж. Природные территориальные комплексы котловин, западин, понижений** представлены следующими урочищами: 1) котловины (древнеозерные), сложенные делювиальными, древнеозерными и торфяными отложениями до 2 – 3 м с торфяными и перегнойно-торфяными почвами под редкостойными сосново-березовыми травянисто-сфагновыми лесами; 2) заболоченные понижения с перегнойно-подзолисто-глеевыми, перегнойно-глеевыми почвами под редкостойными преимущественно березовыми лесами с пушицево-осоковым, влажнотравно-полевицево-щучковым, пушицево-сфагновым покровом; 3) западины со слабоподзолистыми глееватыми, подзолисто-глееватыми и мелкоболотными почвами низинного типа с влажнотравно-осоковыми сообществами с ивой.

**3. Местность поймы** характеризуется распространением следующих урочищ: 1) комплекс крупных грив с дерновыми слаборазвитыми почвами, с остепненными лугами, иногда дубравами и межгривных понижений с лугово-болотными тяжелосуглинистыми почвами, с осоково-манниково-канареечниковыми лугами; 2) комплекс мелких грив с дерново-луговыми маломощными легкосуглинистыми, лугово-болотными тяжелосуглинистыми почвами, с разнотравно-белополевичниками; 3) пологоволнистые (скрытогривистые) поймы с дерново-луговыми типичными суглинистыми и легкосуглинистыми почвами, с лугово-овсянниками с примесью мятлика лугового, ежи сборной; 4) выровненные поймы с дерново-луговыми типичными и мощными суглинистыми почвами, с лугами (клевер луговой, овсяница луговая, тимофеевка луговая, пырей ползучий); 5) плоские заочкаренные поймы с луговыми тяжелосуглинистыми почвами, со щучниками с примесью влаголюбов; 6) плоские заочкаренные поймы с лугово-болотными тяжелосуглинистыми почвами, с хвощово-крупнотравно-осоковыми лугами с зарослями ив, ольхи и березы; 7) топи ольховые притеррасные на торфянисто- и торфяно-глеевых, торфяных, иловато-суглинистых почвах; 8) понижения с лугово-болотными тяжелосуглинистыми почвами, с осоково-щучковыми лугами; 9) повышенные притеррасные поймы на конусах выноса оврагов и балок с разнотравно-мелкозлаковыми лугами; 10) останцы первой надпойменной террасы с дерновыми слаборазвитыми песчаными почвами, с остепненными лугами, с сосной и дубом.

**Геохимия ландшафтов.** Геохимическая структура ландшафтов описывается радиальным и латеральным поведением изучаемых показателей в различных его компонентах, которое характеризуется радиальным (R) и латеральным (L) коэффициентами концентрации.

Результаты спектрального полуколичественного анализа показали, что содержание гафния, тантала, германия, кадмия, индия, лантана, золота, плати-

ны, сурьмы, мышьяка, таллия, вольфрама, висмута, гафния, гадолиния, церия, урана и тория во всех пробах почв, почвообразующих пород, донных отложений и пыли, накопленной снегом, в районе строительства ГРЭС ниже предела чувствительности данного метода. Концентрация серебра, фосфора, лития, ниобия, скандия, олова в почвообразующих породах, почвах, донных отложениях и снежном покрове, а цинка и бария – в верхнем горизонте почв превышает чувствительность метода менее чем в 50 % проб.

Содержание большинства изучаемых химических элементов в почвах не превышает кларк литосферы. Иттербий, цирконий, свинец, молибден, а на отдельных участках скандий и литий накапливаются слабо. Общий геохимический индекс для верхнего горизонта почв имеет вид:

$$\frac{\text{Pb}_{1,1} \text{Ti}_{1,0} [\text{Sn}_{1,0}] \text{Yb}_{2,7} \text{Mo}_{1,8} \text{Zr}_{1,3} [\text{Li}_{1,3} \text{Sc}_{1,2}]}{\text{V}_{0,8} \text{Mn}, \text{Co}_{0,6} \text{Ga}_{0,5} \text{Cr}_{0,4} \text{Cu}, \text{Y}, \text{Sr}_{0,3} \text{Be}_{0,2} [\text{Nb}_{0,8} \text{Ba}_{0,4} \text{Zn}_{0,2}]}$$

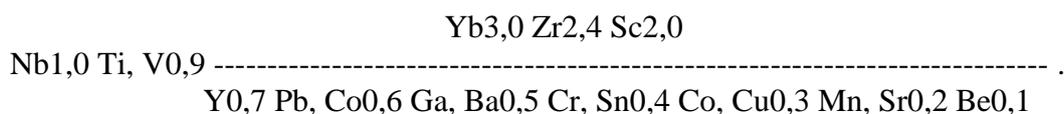
В квадратных скобках указаны химические элементы, содержащиеся менее чем в 50 % проб.

**Радиальная дифференциация почв.** Важнейшим показателем, характеризующим радиальную структуру ландшафтов, является коэффициент радиальной дифференциации, представляющий собой отношение содержания (валового или подвижного) химического элемента в том или ином генетическом горизонте почвы к его содержанию в почвообразующей породе [Дьяконов и др., 1996]. Данный показатель позволяет судить о накоплении или выносе химических элементов в каждом горизонте почвенного профиля по сравнению с почвообразующими породами. Элементы, для которых  $R > 5$ , характеризуются сильным накоплением,  $R = 2 \dots 5$  – средним накоплением,  $R < 1$  – выносом и т. д. Классификация химических элементов по данным группам позволяет в первом приближении судить о радиальной почвенно-геохимической структуре элементарного ландшафта. Большое влияние на нее оказывают: строение почвенного профиля; распределение органического вещества, карбонатов, солей; окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия; наличие геохимических барьеров.

*Светло-серые лесные почвы* (шурф № 16) распространены на водораздельных пространствах и характеризуются усилением кислотных свойств с глубиной – от кислых в гумусовых горизонтах до сильнокислых в почвообразующих породах и переходном иллювиальном горизонте ВС. По сравнению с почвообразующими породами почвы отличаются более легким механическим составом, особенно в иллювиальном слое В. Сумма поглощенных оснований изменяется от менее 0,1 ммоль на 100 г почвы в горизонте В до 16,6 ммоль – в лесной подстилке.

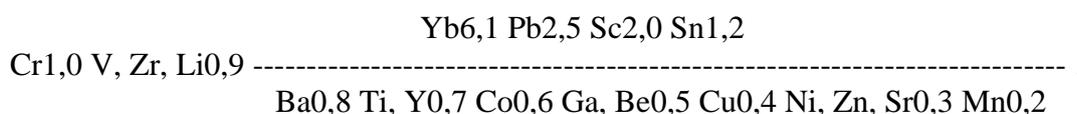
Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными суглинками. Они обеднены микроэлементами ( $\text{КК} < 1,0$ ). Содержание молибдена, цинка, серебра и лития ниже предела чувствительности полуколичественного спектрального анализа. В них накапливаются иттербий, цирконий и скандий

(КК > 1,0). Геохимический индекс суглинков, рассчитанный относительно кларка литосферы, имеет вид:



Для радиальной дифференциации микроэлементов характерно накопление в гумусовом горизонте свинца, марганца, кобальта и хрома. Скандием, иттрием, цирконием, ванадием и медью данные горизонты обеднены. Из иллювиального слоя В микроэлементы выносятся водными потоками. Металлы аккумулируются в переходном иллювиальном горизонте ВС. Наиболее интенсивно ( $R > 2,0$ ) в нем накапливаются хром, бериллий, свинец, цирконий, ниобий, никель и иттербий.

*Серые лесные почвы* (шурф № 17) встречаются на старых террасах реки Мокши и обладают кислой средой и суглинистым составом. Сумма поглощенных оснований составляет 4,2 – 11,8 ммоль на 100 г почвы. Почвообразующие породы представлены аллювиальными суглинками. Они обеднены микроэлементами (КК < 1,0). Содержание молибдена, ниобия и серебра ниже предела чувствительности полуколичественного спектрального анализа. В них накапливаются иттербий, свинец, скандий и олово (КК > 1,0). Геохимический индекс суглинков, рассчитанный относительно кларка литосферы, имеет вид:

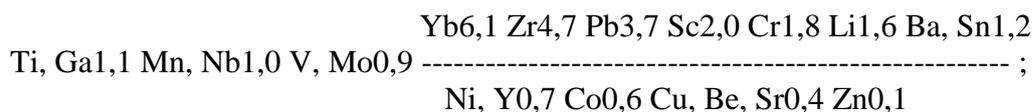


Большинство химических элементов по профилю почв распределено достаточно равномерно ( $R = 0,7 \dots 1,5$ ). Ниобий, цирконий, марганец и никель накапливаются ( $R > 1,5$ ) в гумусовых горизонтах почв. Уменьшение концентрации глинистых минералов в нижнем иллювиальном горизонте В<sub>2</sub> способствует выщелачиванию из него металлов ( $R < 0,7$ ), за исключением галлия и циркония. Наиболее сильно ( $R < 0,3$ ) данный слой обеднен никелем, медью, свинцом, цинком, оловом, бериллием и иттербием.

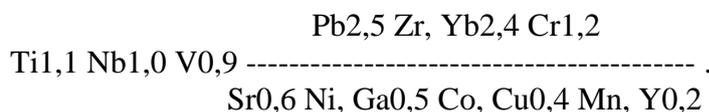
*Дерново-подзолистые почвы* (шурфы № № 18, 19, 21) распространены на первой надпойменной террасе реки Мокши. Они характеризуются супесчаным и легкосуглинистым составом и кислой средой. С глубиной кислотные свойства почв слабо усиливаются. Сумма поглощенных оснований составляет 0,3 – 10,4 ммоль на 100 г почвы, достигая наибольших значений в почвообразующих породах.

Почвообразующие породы представлены аллювиальными суглинками (шурфы № 18 и 19) и песками (шурф № 21). Данные отложения обеднены микроэлементами (КК < 1,0). В суглинках аккумулируются только иттербий, цирконий, свинец, хром, а на отдельных участках скандий, литий и олово аккумулируются в суглинках (КК > 1,0). Для аллювиальных суглинков характерны следующие ассоциации химических элементов:

тяжелые суглинки (шурф № 18)



средние суглинки (шурф № 19)



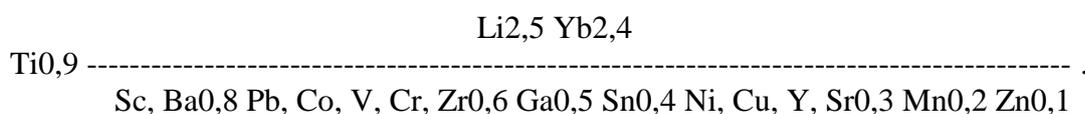
В аллювиальных песках содержание всех изучаемых микроэлементов ниже кларка литосферы, а концентрации молибдена, ниобия, свинца, цинка, олова, бериллия, скандия, лития и серебра ниже предела чувствительности полуколичественного спектрального анализа. Геохимический индекс песков, рассчитанный относительно кларка литосферы, имеет вид:  $\text{Yb}_{0,9} \text{ Zr}_{0,6} \text{ Ba}_{0,5} \text{ V, Ga, Y}_{0,3} \text{ Mn, Ti, Cu, Sr}_{0,2} \text{ Cr, Co}_{0,1}$ .

На участках распространения аллювиальных суглинков наблюдается уменьшение содержания физической глины в верхних горизонтах почв. Это способствует выщелачиванию из них металлов ( $R < 0,7$ ). На отдельных участках (шурф № 19) наблюдается биогенная аккумуляция марганца и меди в дерновом горизонте.

В районе села Самозлейка (шурф № 21) дерново-подзолистые почвы по сравнению с почвообразующей породой обладают менее кислой средой и более тяжелым механическим составом. Это способствует накоплению химических элементов в профиле почв. Наиболее интенсивно ( $R > 5,0$ ) в них аккумулируются марганец, медь, кобальт и свинец. Барием гумусовые горизонты бедны ( $R = 0,33$ ).

*Аллювиальные почвы* высокой поймы (шурф № 20) характеризуются глинистым составом, кислой средой и высоким содержанием органического вещества (8,1 – 13,8 %) в гумусовых слоях. Сумма поглощенных оснований составляет 15,0 – 22,6 ммоль на 100 г почвы. С глубиной щелочные свойства почв усиливаются, а содержание гумуса уменьшается.

Среди почвообразующих пород преобладают глины. Концентрация большинства микроэлементов в них ниже кларка ( $КК < 1,0$ ). Содержание молибдена, ниобия, серебра и бериллия ниже предела чувствительности полуколичественного спектрального анализа. Иттербий и литий в них аккумулируются слабо ( $КК = 2,4 \dots 2,5$ ). Геохимический индекс аллювиальных глин, рассчитанный относительно кларка литосферы, имеет вид:



Концентрация металлов в почвах близка к ее значениям в почвообразующих породах ( $R = 1,0 \dots 1,5$ ). В дерновом горизонте наблюдается биогенная ак-

кумуляция бериллия, марганца и меди ( $R > 3,0$ ). С глубиной их накопление уменьшается ( $R = 1,0 \dots 1,5$ ). В переходном иллювиальном слое ВС в значительном количестве присутствуют бериллий, марганец, никель, свинец, цинк и олово. Данные почвы бедны литием ( $R = 0,3 \dots 0,7$ ), гумусовые слои – барием, а горизонты А и В – ванадием и оловом.

**Латеральная структура почв.** В латеральной структуре почв элювиальных ландшафтов отмечается смена светло-серых лесных почв, занимающих водораздельные пространства рек Мокша и Сивинь, на серые лесные и дерново-подзолистые почвы, распространенные на надпойменных террасах Мокши. Супераквальные ландшафты, представленные высокой ее поймой, характеризуются широким распространением аллювиальных почв.

Почвенный покров элювиальных ландшафтов в районе строительства Мордовской ГРЭС имеет кислую реакцию среды, легкий механический состав и низкую сумму поглощенных оснований. В почвах супераквального ландшафта содержание физической глины увеличивается. Почвообразующие породы и иллювиальные горизонты аллювиальных почв по сравнению с почвами элювиальных ландшафтов обладают менее кислой средой.

Концентрация микроэлементов в почвообразующих суглинках и глинах на изучаемой территории имеет близкие значения ( $L = 0,7 \dots 1,5$ ). Содержание свинца, хрома, бария, стронция и никеля в аллювиальных суглинках подчиненных ландшафтов увеличивается ( $L = 1,5 \dots 5,0$ ). В глинах супераквальных ландшафтов концентрация данных элементов по сравнению с суглинками надпойменных террас уменьшается и приближается к значениям в автономном ландшафте. Марганец, кобальт, ванадий, титан, никель, медь и галлий в латеральной структуре распределены равномерно ( $L = 0,5 \dots 2,0$ ). Аллювиальные пески первой надпойменной террасы по сравнению с флювиогляциальными суглинками бедны микроэлементами ( $L < 0,7$ ).

Для латеральной структуры органогенных слоев характерны близкие значения концентрации микроэлементов ( $L = 0,7 \dots 1,5$ ). В гумусовых горизонтах серых лесных почв накапливаются скандий, никель, хром, цирконий, медь, олово, иттрий, иттербий и барий ( $L = 1,5 \dots 5,0$ ). Кобальтом и свинцом они бедны ( $L < 0,7$ ). Дерново-подзолистые почвы мало содержат марганца, свинца, ниобия, ванадия и кобальта, а на отдельных участках – галлия и бария ( $L < 0,7$ ). В верхних горизонтах аллювиальных почв слабо аккумулируются никель, титан, хром, ванадий, олово, иттербий, стронций ( $L = 1,5 \dots 3,0$ ) и сильнее – литий, медь, иттрий ( $L > 3,0$ ).

Иллювиальные горизонты отличаются разным поведением химических элементов в верхних ( $B_1$ ) и нижних ( $B_2$  и ВС) слоях. Если в подчиненных ландшафтах большинство металлов в верхних иллювиальных горизонтах имеют близкие значения с соответствующими слоями почв автономных ландшафтов или слабо накапливаются ( $L = 1,0 \dots 3,0$ ), то в нижних горизонтах  $B_2$  и переходном слое ВС серых лесных и дерново-подзолистых почв их содержание уменьшается ( $L < 0,7$ ). В переходном иллювиальном слое аллювиальных почв аккумулируются марганец, никель, кобальт, свинец и цинк ( $L > 1,5$ ). Иттербием, литием и цирконием он беден ( $L < 0,7$ ).

Выявление основных геохимических условий, оказывающих наибольшее влияние на распределение изучаемых химических элементов в почвах ландшафтов водно-ледниковых равнин, проводилось с помощью факторного анализа (табл. 15), который показал, что валовое содержание микроэлементов в почвах на 60 % определяется первыми четырьмя факторами, влияние остальных не превышает 5 %.

Таблица 15

**Зависимость распределения химических элементов в почвах на территории строительства ГРЭС от первых четырех факторов**

Показатель	Коэффициент чувствительности к факторам			
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Марганец	0,45	<b>0,59</b>	-0,26	0,30
Никель	0,35	<b>0,69</b>	-0,16	0,08
Кобальт	0,00	<b>0,58</b>	-0,16	0,10
Таллий	<b>0,69</b>	0,06	-0,26	0,04
Ванадий	0,43	<b>0,50</b>	0,49	0,20
Хром	<b>0,81</b>	0,48	0,13	0,12
Молибден	0,01	0,17	<b>-0,74</b>	-0,19
Цирконий	<b>0,83</b>	-0,16	0,20	-0,06
Ниобий	0,32	-0,27	<b>0,51</b>	0,05
Медь	0,30	0,25	<b>-0,74</b>	-0,15
Свинец	0,17	<b>0,66</b>	0,25	0,16
Цинк	-0,04	<b>0,79</b>	-0,05	-0,10
Олово	0,19	<b>0,74</b>	-0,17	-0,04
Галлий	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>	-0,08	0,11
Бериллий	0,06	0,48	<b>0,63</b>	0,03
Скандий	<b>0,59</b>	0,11	<b>0,53</b>	0,14
Иттрий	<b>0,71</b>	0,22	0,03	0,24
Иттербий	<b>0,75</b>	0,21	0,33	-0,05
Литий	0,01	-0,32	-0,18	0,58
Стронций	0,36	0,01	0,07	-0,08
Барий	<b>0,69</b>	0,21	0,07	0,09
Физическая глина	0,29	0,23	0,19	<b>0,67</b>
Органическое вещество	-0,17	0,10	-0,16	<b>0,86</b>
Сумма поглощенных оснований	0,01	0,20	0,06	<b>0,84</b>
pH	-0,28	0,27	<b>-0,57</b>	0,20
Гидролитическая кислотность	0,13	0,02	0,18	<b>0,80</b>
Глубина	0,14	0,03	<b>0,53</b>	-0,22
Вклад в общую дисперсию, %	19	16	13	12

Наибольший вклад в поведение химических элементов в ландшафтах водно-ледниковых равнин вносит первый фактор (19 %). Высокие коэффициенты чувствительности титана и циркония указывают на то, что данный фактор связан с содержанием в почвообразующих породах их минералов – анатаза, рутила, ильменита, циркона и др. Иттрий, бериллий, ниобий и скандий выступают в виде примесей в данных минералах. На близкие условия миграции циркония, иттрия, скандия, ниобия и титана указывается в работах Н. С. Касимова [1995].

Для второго фактора характерна значительная прямая корреляция с содержанием в почвах халькофильных элементов (цинка, олова, свинца, галлия), сидерофильных элементов (никеля, кобальта), а также марганца.

Третий фактор характеризует распределение микроэлементов в зависимости от глубины. Высокая отрицательная чувствительность к данному фактору величины рН указывает на усиление кислотных свойств с глубиной, что характерно для подзолистого типа почв. Содержание молибдена и меди с глубиной убывает, а бериллия, скандия, ниобия и ванадия – увеличивается.

Четвертый фактор определяет влияние органического вещества и физической глины на поведение металлов. Большая чувствительность к данному фактору степени насыщенности основаниями указывает на то, что увеличение содержания органического вещества и физической глины приводит к росту насыщенности данных почв основаниями. Среди химических элементов наибольшей чувствительностью к данным факторам обладает марганец, для которого характерна биогенная аккумуляция. Отрицательная корреляция данного фактора с глубиной свидетельствует о том, что для верхних горизонтов почв свойственно повышенное накопление органического вещества и физической глины.

**Социально-экологическая оценка вторжения в природную среду.** При строительстве крупных объектов серьезное внимание сегодня уделяется влиянию проекта на качество окружающей среды, здоровье местных жителей, особенно в тех случаях, когда это вызывает необходимость их переселения. Не является в этом отношении исключением и возможное строительство на территории Республики Мордовия ГРЭС.

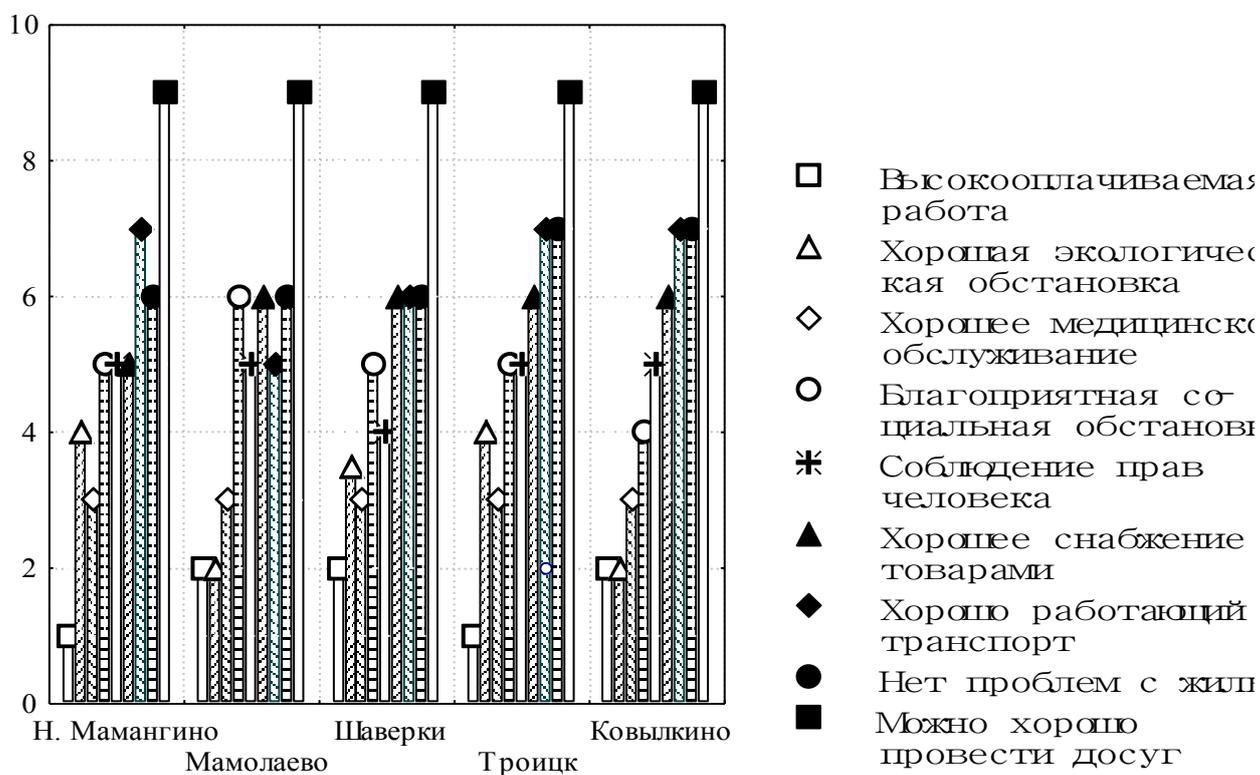
Для определения субъективного восприятия населением выбора места строительства ГРЭС, степени экологической напряженности в результате ее строительства, выявления места экологических факторов в системе факторов качества жизни, изменения экологической обстановки и возможных последствий строительства ГРЭС сотрудниками Научно-производственного центра экологических исследований при Мордовском университете было проведено социологическое исследование «Оценка социально-экологической безопасности района строительства ГРЭС».

Основным методом сбора первичной социологической информации был выбран анкетный опрос. Статистическая значимость объема выборочной совокупности и совпадение ее структуры с генеральной обеспечивались тремя признаками: числом проживающих в населенных пунктах, полом, возрастом (до 29 лет, 30 – 39 лет, 40 – 49 лет, 50 – 59 лет, 60 лет и более). Это позволило рассчитать квотный вид выборки, объем которой составил 176 чел. Для выявления особенностей территориальной дифференциации степени социально-экологической напряженности вследствие удаленности от места строительства электростанции опрос проводился в следующих населенных пунктах: до 5 км – с. Новое Мамангино, от 5 до 10 км – с. Мамолаево, от 10 до 15 км – с. Шаверки, от 15 до 20 км – с. Троицк, более 20 км – г. Ковылкино.

При ранжировании приоритетов качества жизни 76 % опрошенных поставили на первое место из девяти высокооплачиваемую работу, 65 % – меди-

цинское обслуживание, 54 % – экологическую обстановку. Остальные факторы качества жизни, которым отдали предпочтение жители исследуемого района, распределились следующим образом: благоприятная социальная обстановка – 29 %, соблюдение прав человека – 28, хорошее жилье – 22, снабжение товарами и продуктами – 12, проведение досуга – 10, хорошо работающий общественный транспорт – 9 %. Такое распределение свидетельствует о том, что население в целом испытывает беспокойство по поводу ухудшения экологической ситуации в месте своего проживания в связи со строительством ГРЭС.

Как видно из ответов респондентов, приоритетами в формировании уровня жизненных потребностей являются экономические, только 10 % считают, что в их населенном пункте можно найти хорошую высокооплачиваемую работу. Уровень среднегодового дохода на душу населения в районе строительства ГРЭС характеризуется невысокими показателями относительно среднереспубликанских. Оценивая свое материальное положение, 35 % граждан отметили, что оно их вполне устраивает. Однако уровень удовлетворения жизненных потребностей опрашиваемых имеет некоторые различия (рис. 18).



Р и с . 1 8 . Ранжирование факторов качества жизни по степени важности (1 – максимальное значение, 9 – минимальное значение)

Как видно из диаграмм, в целом отмечается сходная структура ранжирования населением факторов качества жизни. Высокий ранг стабильно сохраняется у фактора «высокооплачиваемая работа». Жители Нового Мамангина и Троицка поставили данный параметр на первое место, а Мамолаева, Шаверок и Ковылкино – на второе.

Интерес представляет мнение респондентов по поводу рейтинга фактора «хорошая экологическая обстановка» в зависимости от удаленности места строительства электростанции. Население Мамолаева и Ковылкина данный фактор поставило на второе место, тогда как остальных населенных пунктов – на третье и четвертое. По-видимому, финансовое положение, хорошее медицинское обслуживание для жителей данных населенных пунктов важнее чистоты окружающей среды. Тем не менее какой-либо закономерности в повышении или снижении рейтинга параметра «хорошая экологическая обстановка» вследствие удаленности от места строительства предполагаемой электростанции не выявлено.

Необходимо отметить, что в поселениях, где существует проблема с трудоустройством и получением высокооплачиваемой работы, жители в меньшей степени обеспокоены строительством ГРЭС и в будущем надеются на улучшение своего материального положения. Так, 67 % респондентов с. Новое Мамангино, находящегося в непосредственной близости от предполагаемой территории ГРЭС, признают необходимость строительства электростанции в республике. Подавляющая часть населения указанного населенного пункта характеризуется относительно низкими доходами. И, наоборот, жители с. Шаверки, где хозяйство стабильно развивается, и население имеет относительно благополучное материальное положение, дали положительный ответ по этому поводу лишь 20 % респондентов, отрицательный – 55 % и 25 % затруднились ответить.

Выявлена дифференциация и в оценках удовлетворенности выбором района строительства ГРЭС (рис. 19.). Исследование показало, что 57 % респондентов с. Новое Мамангино удовлетворены местом строительства ГРЭС, неудовлетворены 30 % и затруднились ответить 13 %, что еще раз подтверждает предположение о таком наиболее важном приоритете для жителей села, как улучшение материального положения. Кроме того, 54 % опрошенных этого села полагают, что в результате постройки ГРЭС повысится уровень их жизни и произойдут перемены к лучшему.

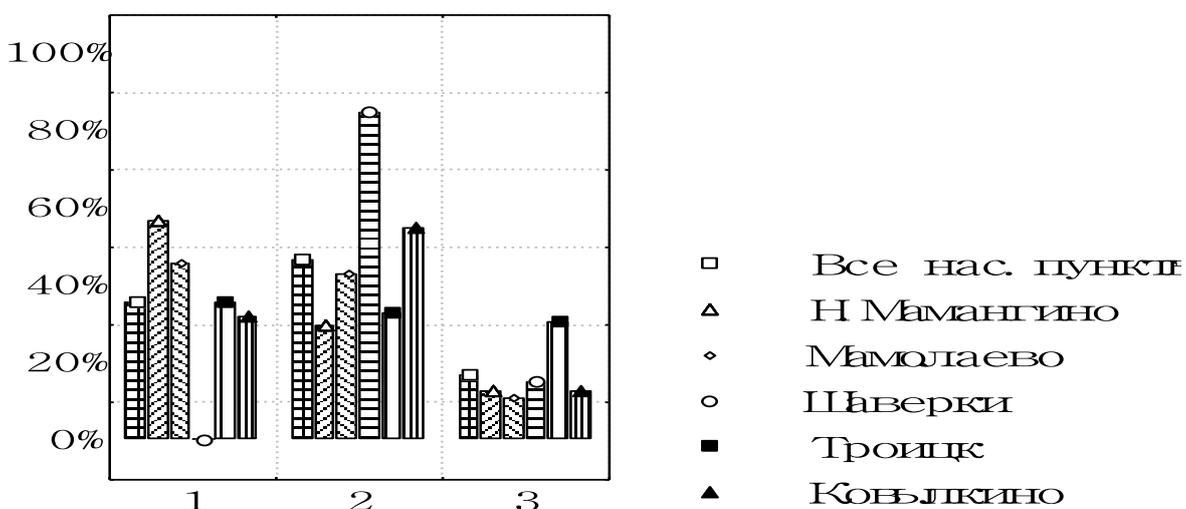


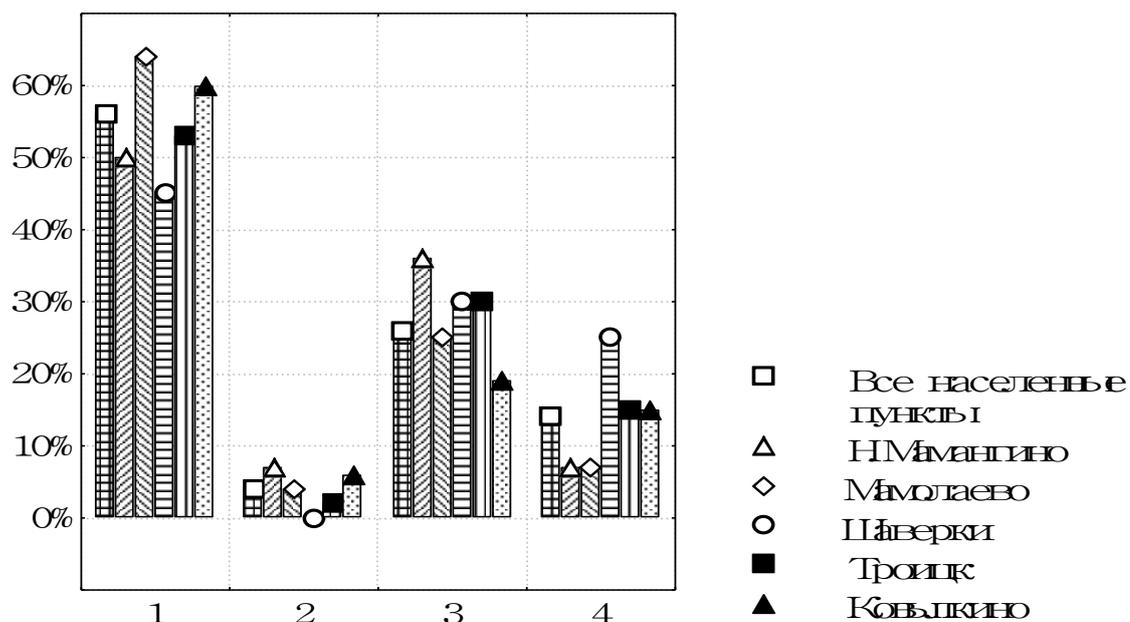
Рис. 19. Удовлетворенность выбором места строительства ГРЭС (1 – да, 2 – нет, 3 – затрудняюсь ответить)

Обратная картина наблюдается при опросе жителей с. Шаверки, которые не удовлетворены выбором места строительства электростанции: против высказались 85 % и затруднились ответить 15 % респондентов. Это свидетельствует об их встревоженности по поводу возможного ухудшения окружающей среды в связи со строительством электростанции.

Для территориальных общностей с преобладанием городского населения также характерна высокая степень неудовлетворенности выбором места строительства. Видимо, в условиях города существенно трансформируется среда обитания человека – меняется качество необходимых для его жизнедеятельности природных компонентов (вода, воздух, почва и т. д.). Все это вместе с шумом транспорта, промышленных предприятий и строек создает ту специфическую обстановку, которая оказывает существенное влияние на «экологические» взгляды жителей. Данные опроса в г. Ковылкино свидетельствуют об удовлетворенности местом выбора строительства электростанции лишь 32 % опрошенных, более половины (55 %) – не удовлетворены им, 13 % затруднились ответить.

Таким образом, можно констатировать, что в районе обследования жизненные потребности, интересы и ценностные ориентации городского и сельского населения в связи с качеством окружающей среды различаются. Сельское население больше удовлетворено местом своего проживания, чем городское. Выявлен большой процент лиц городского населения, ощущающего опасность от ухудшения экологической обстановки. Также отмечается некоторая дифференциация ответов на вопрос о необходимости строительства электростанции среди различных социальных групп. Если из респондентов-мужчин 60 % признают необходимость строительства ГРЭС в республике, то женщин таковых оказалось 44 %. Отрицательно ответили на этот вопрос 24 % мужчин и 34 % женщин. Следует отметить, что все опрошенные вне зависимости от места проживания, возраста, уровня образования и т. д. считают целесообразной работу электростанции только на газе.

Ключевой социальной проблемой, на наш взгляд, является стратегия взаимодействия органов государственной власти и местного самоуправления с населением. Как показывают результаты исследования, действия властей по информированию населения о строительстве электростанции оцениваются крайне низко, у людей снижается чувство социальной защищенности. По оценкам респондентов, власть практически устранилась от информирования граждан о влиянии электростанции на состояние окружающей среды. Так, отвечая на вопрос «Откуда Вы получаете информацию о воздействии ГРЭС на состояние экологической обстановки?», 56 % опрошенных жителей всех исследуемых населенных пунктов назвали средства массовой информации, 26 % получают ее от соседей, знакомых, родственников, 14 не получают подобного рода информацию вообще и лишь 4 % черпают ее от представителей городской и республиканской власти. Такое положение дел свидетельствует о необходимости проведения мероприятий, направленных на информирование органами исполнительной власти широких слоев населения, способствующее снижению уровня социальной напряженности (рис. 20).



Р и с . 20 . Источники получения информации о воздействии ГРЭС на экологическую обстановку (1 – из СМИ; 2 – от органов власти; 3 – от соседей, знакомых; 4 – не получают)

Важным аспектом определения субъективного восприятия населением удовлетворенности выбором места строительства ГРЭС стали вопросы, связанные с оценкой изменения экологической обстановки и возможными негативными последствиями в результате ее строительства. На вопрос: «Как Вы считаете, изменится ли экологическая обстановка в результате строительства ГРЭС?», – большая часть опрошенных (66 %) ответили, что изменится в худшую сторону, не изменится, считают, что 9 %, затруднились ответить 18 %. Примечательным оказался тот факт, что 9 % респондентов уверены в улучшении качества окружающей среды в результате строительства электростанции.

Интересно мнение респондентов по поводу возможных последствий в связи с ухудшением среды проживания в результате строительства ГРЭС. На первое место анкетированные поставили ухудшение качества воздуха, почвы, воды (42 %), на второе – ухудшения здоровья (25), на третье – отсутствие возможности охоты, рыбалки, сбора ягод, грибов, лекарственных растений (10), на четвертое – ухудшение привлекательности ландшафта (6) и 17 % – другое.

В повседневной жизни каждый человек оценивает место своего проживания, учитывая при этом качество воздуха, шум от автотранспорта и промышленных предприятий, удаленность районного центра, плотность сети объектов социальной сферы и обслуживания, близость водоемов, зеленых насаждений и т. д., лишь 28 % респондентов предпочли иметь постоянное место жительства в районе воздействия ГРЭС, 59 % не хотят жить вблизи электростанции, 13 % затруднились ответить. Удаленность жилья от этого объекта должна быть более 30 км – так считают 64 % опрошенных. В отдельных населенных пунктах хотя и наблюдается некоторая дифференциация в количественных оценках респон-

дентов, тем не менее отмечается единая структура восприятия предполагаемой комфортности места жительства.

Экологическую обстановку жители указанных поселений косвенно связывают со своим здоровьем. В снижении смертности около 20 % респондентов третьим по значимости фактором (после доступного и качественного медицинского обслуживания и изменения экономической политики) считают улучшение экологической обстановки. Причем степень обеспокоенности загрязнением окружающей среды и влиянием данного фактора на здоровье у городского и сельского населения почти одинакова. По мнению 16,7 % респондентов г. Ковылкино и 15,7 % жителей опрашиваемых сел, мероприятия, направленные на улучшение экологической обстановки, могут повлиять на снижение смертности.

Важным аспектом социально-экологической оценки является анализ потенциального влияния ГРЭС на здоровье населения. Статистические данные свидетельствуют, что в районе отмечается превышение среднереспубликанских показателей обращаемости в лечебные учреждения в связи с болезнями органов пищеварения, дыхания, костно-мышечной системы, системы кровообращения, онкологическими заболеваниями. В атмосферных выбросах подобного типа электростанций, работающих на угле, присутствуют канцерогенные тяжелые металлы, из которых экологически значимыми являются мышьяк, свинец, ванадий. Степень токсичности данных химических элементов высокая. При длительном их воздействии на организм человека возможны почечная недостаточность, умственные расстройства [Лукашев, 1987]. В связи с этим в структуре обращаемости населения в медицинские учреждения Ковылкинского района следует ожидать увеличения показателей поражения мочеполовой системы, нервной системы и органов чувств. Кроме того, в атмосферных выбросах ГРЭС возможно содержание радионуклидов естественного происхождения. Следовательно, появляется риск возникновения злокачественных заболеваний и возможных наследственных эффектов.

Существенное влияние на структуру смертности могут оказать социально-бытовые условия потенциальных строителей и работников ГРЭС. Численность строительно-производственного персонала в пиковый год строительства электростанции составит, по прогнозам, более 10 тыс. чел. Значительная часть персонала в течение строительства и, вероятно, в стадии эксплуатации электростанции будет обеспечена временным жильем (общежитиями и домами гостиничного типа). Такой тип жилья наиболее характерен для территорий промышленного освоения. Как правило, за высокооплачиваемую работу кадровый потенциал готов терпеть неудобства. Такой контингент и пьет больше, и конфликтует чаще. Поэтому при росте численности данной социальной группы в этом районе следует ожидать повышения уровня смертности от неестественных причин.

Таким образом, при строительстве крупных объектов помимо использования системы нормативных показателей очень важно учитывать систему социальных оценок. Проведенное исследование показало, что население не владеет достаточной информацией по поводу строительства ГРЭС в Мордовии. В этой

связи важной задачей для органов исполнительной власти является повышение информированности жителей по вопросам техногенного воздействия этого объекта на окружающую среду и здоровье людей.

**Геоэкологический анализ состояния природно-социально-производственных систем в районе реконструкции трассы автодороги с. Козловка – с. Чукалы-на-Вежне – с. Низовка.** Трасса автодороги проходит в осевой части бассейна р. Вежня в лесостепных ландшафтах эрозионно-денудационной равнины. В Атяшевском районе на 1 января 2000 г. общая численность постоянного населения составляла 23,9 тыс. чел., в том числе городского – 6,3, сельского – 17,6 тыс. чел. В последние годы она имеет тенденцию к сокращению на 0,2 – 0,3 тыс. чел. в год. Соответственно уменьшается и плотность населения. На начало 2002 г. она составила 21 – 22 чел./км<sup>2</sup>. Сокращение численности населения обуславливается прежде всего его относительно высокой естественной убылью. Если в целом по Республике Мордовия данный среднестатистический показатель составил 7,7 чел. на 1 000 чел., то в Атяшевском районе он равен 12,2 чел. При этом для сельских поселений района характерно пятикратное превышение показателя естественной убыли по сравнению с городской местностью.

Уменьшение числа жителей характерно и для населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости от реконструируемой автодороги (табл. 16).

Таблица 16

**Динамика численности населения в районе реконструируемой трассы Козловка – Чукалы-на-Вежне – Низовка в Атяшевском районе**

Населенный пункт	Численность населения						
	1989	1995	1996	1997	1998	1999	2001
с. Козловка	626	594	589	583	557	553	542
с. Чукалы-на-Вежне	392	360	355	345	330	324	305
с. Низовка	341	308	301	303	293	292	280

Несмотря на ухудшающиеся общие показатели демографического состояния данных населенных пунктов, среди них можно выделить село Козловка, которое можно отнести к поселениям, способным к естественному воспроизводству. Доля лиц моложе трудоспособного и трудоспособного возраста здесь составляет 74 %.

По индексу здоровья Атяшевский район отнесен к территории с пониженным уровнем здоровья населения (50 %). Для его жителей характерна обращаемость в лечебные учреждения в связи с болезнями органов пищеварения, костно-мышечной системы и онкологическими заболеваниями. Злокачественные опухоли – одна из наиболее распространенных и все чаще встречающихся причин смерти взрослого населения в сельской местности. Так, если в 1991 г. смертей в связи с онкологическими заболеваниями здесь зарегистрировано 160 на 100 тыс. населения, то в 2000 г. – 208,3.

Согласно результатам социологического исследования, население района выражает значительное беспокойство ухудшением состояния своего здоровья. Его как ценность бóльшая часть жителей ставит на первое место. Среди

факторов, способствующих снижению смертности, около трети респондентов вторым по значимости (после изменения экономической политики) назвали улучшение экологической обстановки.

В районе растет доля людей, обеспокоенных ростом загрязнения среды своего обитания. По данным анкетного опроса, из 10 приведенных обстоятельств (безработица, рост цен, распространение алкоголизма, наркомании и т. д.) загрязнение окружающей среды жители отнесли на пятое место. Значительная часть населения района причину сложившейся обстановки видит в неэффективной работе природоохранных служб.

Экологическая ситуация на территории реконструируемой автотрассы во многом определяется плохим качеством артезианских вод, используемых для питьевых нужд. Качество воды не соответствует СанПиН 2.1.4.559–96 «Вода питьевая» по минерализации, общей жесткости, фтору, железу (общему). Избыток фтора в питьевой воде ( $1,5 \text{ мг/дм}^3$  и более) способствует распространению заболеваемости флюорозом, болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Исследуемая территория в целом характеризуется слабым уровнем загрязнения почвенного и снежного покровов, только на локальных участках отмечается повышенное содержание цинка, свинца, никеля.

Анализ влияния факторов окружающей среды на уровень и структуру здоровья населения приводит к выводу, что реконструкция автодороги не вызовет качественного ухудшения здоровья жителей, прилегающей территории.

Трасса проходит в сельской местности, на удалении от ближайшего промышленного центра – поселка Атяшево – на 25 км. Наиболее значимым стационарным источником загрязнения окружающей среды является Алексеевский цементный завод, расположенный в 30 км к юго-западу от трассы.

Своеобразие геологических условий определяется положением района трассы в зоне сочленения Токмовского свода и Казанско-Ульяновской впадины. Согласно фондовым материалам в геологическом строении принимают участие следующие ярусы и горизонты: касимовский и гжельский горизонты верхнего карбона; батский ярус средней юры; келовейский и оксфорд-кимериджский ярусы верхней юры; готеривский и валанжинский ярусы нижнего мела; среднепозднечетвертичный перигляциальный; современный аллювиальный.

Верхнекаменноугольный морской карбонатный комплекс сложен карбонатными породами – доломитами, известняками с редкими прослоями глин. Доломиты плотные, крепкие, участками пористые. Известняки органические, органогеннообломочные, пористые, часто кавернозные. Глины аргиллитоподобные, известковистые, иногда алевритистые, песчанистые, плотные. Ввиду глубокого залегания пород комплекса отложения не оказывают влияния на развитие инженерно-геологических процессов.

Средневерхнеюрский морской терригенный комплекс почти повсеместно перекрыт чехлом нижнемеловых пород. В строении комплекса принимают

участие глины, в меньшей мере мергели и горючие сланцы. Глины известковистые, занимают 80 – 90 % разреза комплекса.

Нижнемеловой морской терригенный комплекс распространен повсеместно. Разрез комплекса представляет собой сочетание более или менее ритмически построенных пачек, начинающихся песками или алевритами и заканчивающихся глинами. Среди литологических типов пород наиболее широко развиты глины и алевриты, пески имеют подчиненное значение. В инженерно-геологическом отношении данные отложения вполне удовлетворительны как естественное основание фундаментов.

Перигляциальный комплекс объединяет элювиально-делювиальные и делювиально-солифлюкционные отложения. Они характеризуются близкими по значению физическими показателями. Комплекс распространен на склонах. Преобладают суглинки, глины, незначительное развитие имеют супеси. Мощность отложений изменяется от 2 до 10 м.

Современные аллювиальные отложения слагают пойменные террасы реки Вежни и ее небольших притоков. Поверхность поймы ровная, плоская, участками заболоченная, кочковатая. Отложения комплекса залегают на размытых поверхностях меловых и юрских пород. В строении аллювия принимают участие пески с линзами и прослоями супесей, суглинков, глин. Преобладающее развитие получили пески мелкие. При строительстве на площади распространения данного комплекса необходимо проведение сложного комплекса инженерно-подготовительных работ.

Трасса проходит по склонам северных экспозиций. Абсолютные отметки варьируют от 119 до 180 м. Автодорога пересекает небольшие лощины и балки. В селе Чукалы-на-Вежне она спускается к пойме Вежни. Ее бассейн характеризуется активными эрозионными процессами. Значительное проявление они имеют на крутых склонах правобережья. Кроме оврагов здесь распространены оползневые формы рельефа. Менее активно эрозионные процессы проявляются в левобережье, где проходит трасса. С подмывом берегов Вежни связано образование небольших оползней. Эрозионные формы в зоне трассы находятся в зрелой стадии, склоны их пологие, задернованные, поросшие кустарником. Некоторая активизация эрозионных процессов отмечается в ее восточной части. В зоне трассы возможно проявление мелких поверхностных оползней типа оплывин. Широко развит плоскостной смыв. Этому процессу способствуют холмистый характер рельефа, распахивание склонов, залегание с поверхности рыхлых, легко размываемых отложений. Процессы плоскостного смыва усиливаются весной во время таяния снегов и летом в период выпадения ливневых дождей. Общая площадь смытых почв варьирует от 1 до 8 %. Площадь сильно смытых почв 1 – 4 %. Густота овражной сети 0,1 км/км<sup>2</sup>.

В формировании стока подземных вод принимают участие воды, распространенные в отложениях каменноугольного, верхнеюрского, нижнемелового и четвертичного возрастов. Среднее значение модуля подземного стока составляет 0,4 л /с с 1 км<sup>2</sup>. Грунтовые воды в зоне трассы располагаются на глубине от 0,1 до 10,0 м. На 54 % ее протяженности они

имеют минерализацию от 0,5 до 1,0 г/дм<sup>3</sup>, а на 46 % – более 1,0 г/дм<sup>3</sup>. Наличие грунтовых вод, обладающих углекислотной агрессивностью, способствует разрушению подземных конструкций. Основным водоносным комплексом, используемым для хозяйственно-питьевого водоснабжения, является верхнекаменноугольный. Он используется на всей территории Атяшевского района и характеризуется удельными дебитами 0,001 – 3,5 л/с, преобладающее значение – 1,0 л/с; минерализация от 0,6 до 2,3 г/дм<sup>3</sup>. Отмечается несоответствие качества вод СанПиН 2.1.4.559–96 «Вода питьевая» не только по минерализации, но и по содержанию фтора и железа. Водоносный комплекс относится к условно защищенным. Напорные воды перекрыты выдержанным по площади водоупором без нарушения сплошности. Возможно размещение хозяйственных объектов с условием разработки специальных водоохраных мероприятий.

Среди неблагоприятных климатических явлений, влияющих на состояние автодороги, отмечаются гололед и метели. Гололед образуется обычно при небольших отрицательных температурах с выпадением переохлажденного дождя или мороси. Его повторяемость 10 – 15 дней за зиму. Метели формируются при снегопаде с усилением ветра и при температуре воздуха 0...–5 °С (реже –5... –10 °С). Наиболее часты в январе – феврале.

Согласно данным мониторинга снежного покрова, данная территория по суммарному показателю загрязнения характеризуется слабым уровнем загрязнения.

Трасса проходит южнее р. Вежня – правого притока Нуи. Ширина водоохранной зоны Вежни от 50 до 100 м. Средний модуль годового стока колеблется от 4,0 до 4,5 л/с с 1 км<sup>2</sup>. Потенциал самоочищения гидросферы для металлов, нитратов, нитритов, аммонийного азота, фосфора и фосфатов слабый; для нефти и нефтепродуктов, жиров, масла, формальдегидов, углеводов, пестицидов, СПАВ, для сульфатов и хлоридов удовлетворителен.

В зоне трассы распространены плодородные выщелоченные и оподзоленные черноземы. При строительстве автодороги рекомендуется снимать плодородный слой почвы и использовать его для повышения плодородия малопродуктивных сельскохозяйственных угодий или объектов предприятий лесного хозяйства.

Почвообразующие породы на участке проложения трассы представлены элювиально-делювиальными суглинками. Концентрация большинства тяжелых металлов в данных отложениях не превышает кларк литосферы.

Преобладающим в структуре почвенного покрова выщелоченным черноземам характерны слабокислая, близкая к нейтральной, реакция среды и значительное содержание кальция, что способствуют формированию кальциевого класса водной миграции (Ca<sup>2+</sup>).

Суглинистый состав, кальциевый класс водной миграции и значительное содержание органического вещества способствуют накоплению в верхнем горизонте почв химических элементов, поступающих с пылевыми выбросами (свинца, цинка, ванадия, хрома, молибдена и скандия). Концентрация некоторых из них превышает кларк. Поступление перечисленных химических

элементов, вероятно, связано с влиянием Алексеевского цементного завода, отличающегося большими объемами выбросов.

Общий геохимический индекс данных почв имеет вид:

$$\frac{\text{Zr}_{2,5} \text{ Sc}_{1,7} \text{ Ti}_{1,6} \text{ Cr}_{1,5} \text{ Mo}_{1,4} \text{ Pb}_{1,3} \text{ V}_{1,2}}{\text{Ba, Co}_{0,8} \text{ Ga, Ni, Sr}_{0,7} \text{ Mn, Cu}_{0,6} \text{ Zn}_{0,5}}$$

В районе проложения трассы в верхнем слое почв содержание свинца близко к фоновым значениям (20 – 30 мг/кг). Более высокие концентрации данного металла (38 – 64 мг/кг) отмечаются в населенных пунктах. Строительство автодороги может привести к увеличению накопления некоторых химических элементов (свинца, меди и др.) в почвах придорожной зоны. Однако значительная сорбционная способность почв будет затруднять их поступление в сельскохозяйственные культуры и ограничивать латеральную и радиальную миграцию.

Оценка степени загрязнения почв территории Республики Мордовия радионуклидами проводилась Росгидрометом на основе аэрогаммасъемки масштаба 1 : 1 000 000. Наземные наблюдения осуществлялись НПО «Уран» в период с 1991 по 1994 г. Плотность загрязнения почв цезием-137 составляет 0,5 – 0,75 Ки/км<sup>2</sup>.

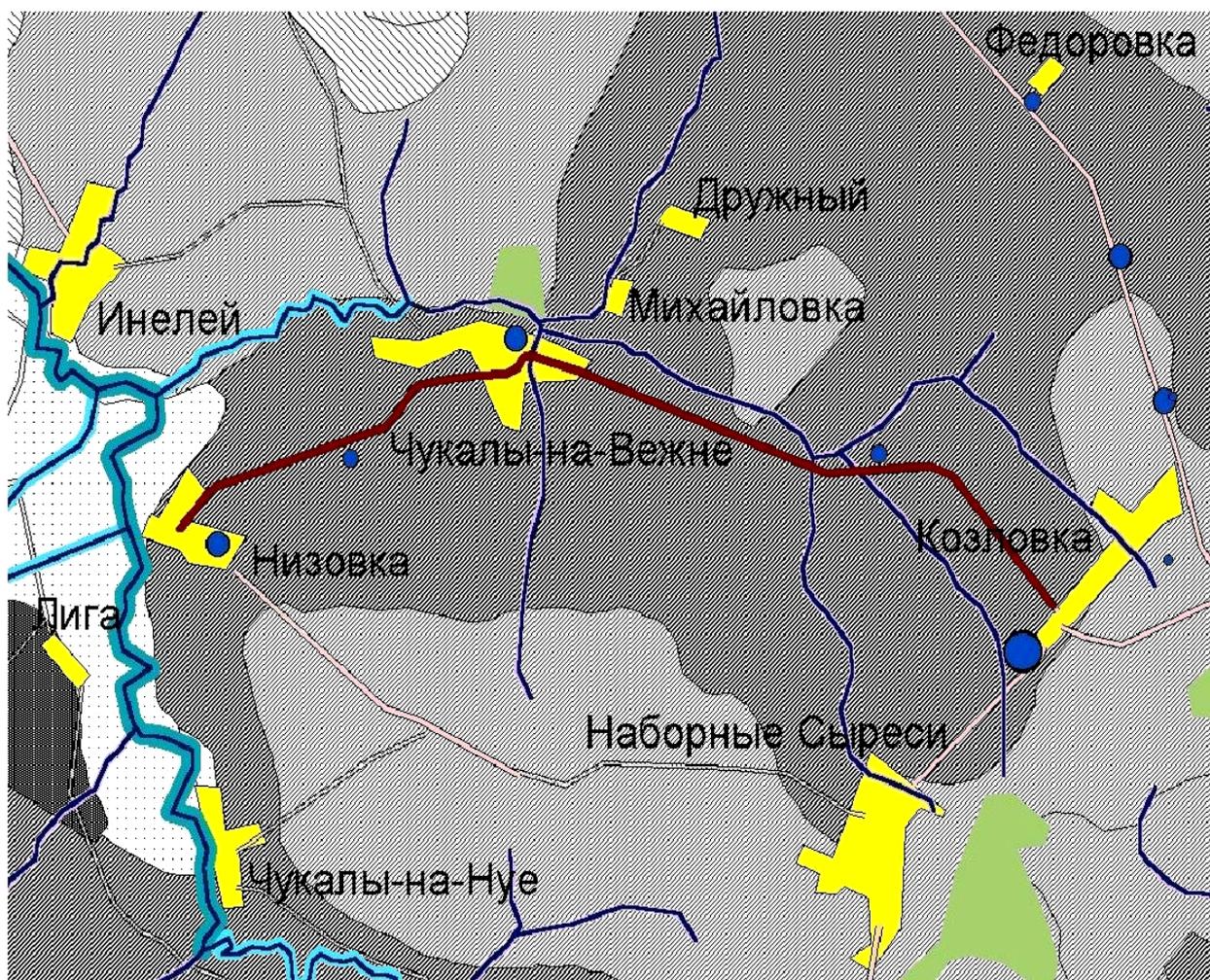
В районе трассы сохранились небольшие массивы широколиственных лесов. Основными лесобразующими породами являются дуб черешчатый, липа мелколистная, клен остролистный и полевой, ясень обыкновенный, вяз. В первом ярусе широколиственных лесов – дуб, ясень, клен остролистный, вяз, липа. В кустарниковом покрове преобладают орешник, бересклет бородавчатый, жимолость лесная, крушина ломкая, шиповник. В широколиственном лесу хорошо развит травяной покров из сныти обыкновенной, осоки волосистой. Обычно это дубравное ширококостровое. Весной развивается травяной покров из ветреницы лютиковой, чистяка весеннего. Лугово-степные комплексы значительно распаханы. Особо охраняемых природных территорий в районе трассы нет.

Трасса проходит в лесостепных ландшафтах эрозионно-денудационной равнины (рис. 21). В морфологической структуре ландшафта доминируют следующие типы геокомплексов:

- А3т – волнистые поверхности средних участков склонов, сложенные элювиально-делювиальными отложениями терригенных пород, с темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами под широколиственными лесами. Местности характеризуются высокой распаханностью. Почвогрунты среднеустойчивы к техногенному загрязнению;
- А4т – волнистые поверхности придолинных склонов, сложенные делювием терригенных пород, с выщелоченными и луговыми черноземами под луговыми степями. Местности отличаются очень

высокой распаханностью. Почвогрунты неустойчивы к техногенному загрязнению;

- А0 – гидроморфные комплексы лощин, балок, пойм.



Содержание свинца в почвах, мг/кг

- 0 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80

Ширина водоохраных зон рек

- 200 м
- 100 м
- 50 м

Типы ландшафтов

- ▨ А3
- ▨ А4
- ▨ В1
- ▨ Д5
- ▨ Под

0 2 км

Рис. 21. Геоэкологические условия в районе реконструируемой трассы Козловка – Чукалына-Вежне – Низовка (характеристика ландшафтов в тексте)

Местности А3 и А4 относятся к геоконструкциям, не требующим инженерной подготовки. Как правило, это пологие склоны. Грунтовыми основаниями служат глинистые образования перигляциального генезиса. Несущая способность грунтов на данной территории довольно высока, уровень грунтовых вод располагается на глубине до 10 м. Воды по отношению к бетону агрессивны, что влечет за собой необходимость гидроизоляции в местах их близкого залегания к поверхности земли. В местах разгрузки грунтовых вод возможно развитие оплывинных процессов. Артезианские воды слабоминерализованные, имеют среднюю и большую глубину залегания, пригодны для среднего потребителя. Возможно сооружение небольших водозаборов для централизованного водоснабжения.

Более сложные геологические условия формируются балках и пойме Вежни. Воды аллювиальных и пролювиальных отложений обладают агрессивными свойствами по отношению к бетону, грунтовые воды залегают на глубине от 0,1 до 6,0 м. В целом отложения пойм имеют высокие прочностные характеристики, за исключением прослоев и линз недоуплотненных глин и суглинков, а также прослоев торфов. Однако из-за близкого залегания грунтовых вод, ежегодной активизации поверхностного стока их использование под строительство затруднено. Требуется комплекс инженерно-подготовительных мероприятий, включающий устройство искусственных оснований, дренажных магистралей, гидроизоляцию.

На основе проведенного геологического анализа зоны трассы автодороги с. Козловка – с. Чукалы-на-Веже – с. Низовка в Атяшевском районе Республики Мордовия можно сделать вывод о том, что реконструкция участка дороги при соблюдении СНиПа не вызовет развития деструктивных процессов. Район характеризуется удовлетворительными условиями для строительства и эксплуатации трассы.

### **3.5.5. Гидротехнические системы**

Гидротехнические системы (ГТС) в процессе освоения ландшафтов обеспечивают использование их водных и гидроэнергетических ресурсов. К ГТС относятся водохранилища, очистные и водозаборные сооружения, гидроэлектростанции и др. Их эксплуатация сопровождается изменением водного баланса региона, изменением химического состава поверхностных и подземных вод, режима функционирования экосистем, активизацией геологических процессов. Методические аспекты изучения гидротехнических систем разрабатывались С. Л. Вендровым, К. Н. Дьяконовым, А. Г. Емельяновым, В. Б. Михно, А. И. Добровым и др. Цель геологического исследования – оценка геологического риска, определение масштабов мероприятий по охране природных территориальных и природно-аквальных комплексов. В качестве исходной информации для формирования баз данных использовались результаты инвентаризации состояния прудов, водохранилищ, водозаборных сооружений.

Результаты инвентаризации искусственных водоемов на территории Мордовии позволили подразделить их по геоэкологическому состоянию на две группы.

1. Пруды инженерного типа, построенные по проекту. В подавляющем большинстве случаев они обладают необходимым запасом устойчивости и при условии ведения профилактических мероприятий успешно выполняют функции по обводнению, рекреации и облагораживанию культурного ландшафта. В результате реорганизации и ликвидации предприятий многие гидротехнические сооружения не имеют юридического хозяина, вследствие чего многие их элементы находятся в аварийном состоянии и представляют потенциальную опасность при эксплуатации.

Например, в Инсарском районе наибольшую геоэкологическую опасность представляет пруд, расположенный на р. Тарса. Гребень плотины местами разбит, имеются колеи от автотехники. Происходит активный подмыв верхового откоса. Между шахтой и гребнем плотины наблюдается провал грунта, образовавшийся в результате фильтрации воды вдоль шахтного водосброса. На выходе водосбросного сооружения стык одной секции железобетонных труб соединен негерметично, что привело к подмыву и сползанию низового откоса. В нижней части водосбросного сооружения отмечается разрушение водобойной плиты и боковых стенок, а в его шахте наблюдается утечка воды через запорную арматуру. В результате прорыва тела плотины в зоне возможного затопления могут оказаться с. Ямщина и автодорога Инсар – Ковылкино.

2. Плотины, построенные для сезонного регулирования и задержания летнего меженного стока. Продолжительность их функционирования 3 – 4 года. Это наиболее опасные с геоэкологической точки зрения сооружения, так как они способствуют эрозии берегов, засоряют русло и снижают эстетику ландшафта.

Результаты инвентаризации прудов и водохранилищ показали, что для оптимизации хозяйственной деятельности необходимо в ближайшее время провести работы по ландшафтно-гидрологическому картированию водосбросов малых рек территории в масштабе 1 : 100 000 и крупнее, осуществлять ландшафтно-гидрологический мониторинг водосбросов, провести паспортизацию всех малых рек.

В процессе геоэкологических работ на территории Мордовии было проведено обследование 3 071 водозаборной скважины у 848 водопользователей (рис. 22). При характеристике их технического состояния использовались следующие показатели: качество павильонов и ограждений зон санитарной охраны (ЗСО), цементация устья скважин, утечка воды из водозапорной арматуры, оборудование оголовков скважин кранами для отбора проб воды и водомерными счетчиками. При оценке состояния документации учитывалось наличие паспортов и лицензий. Анализируемые показатели сравнивались со среднестатистическими параметрами по Республике Мордовия. В соответствии с полученными данными о состоянии водозаборных сооружений и ведении документации районы были сгруппированы следующим образом: с относительно высо-



ким высоким уровнем; выше среднего уровня; среднего уровня; ниже среднего уровня; с низким уровнем.

К **первому типу районов** с относительно высоким уровнем технического состояния скважин относятся г. Саранск и муниципальное образование Рузаевка, где процент павильонов и ограждений ЗСО строгого режима, требующих ремонта, невысок. Значительная доля скважин в этой группе районов оборудована приборами учета водопотребления. Только около 23 % скважин в МО Рузаевка и 17 % – в Саранске не имеют кранов для отбора проб воды. Лишь на 4 % скважин в столице республики и подчиненных ей населенных пунктах наблюдается утечка воды, у 6 % скважин устья не зацементированы. В МО Рузаевка данные показатели составляют соответственно 6 и 17 %. Кроме того, по наличию паспортов на скважины и лицензий на право добычи подземных вод г. Саранск также относится к типу районов с относительно высоким уровнем состояния документации.

Ко **второму типу районов**, где уровень технического состояния скважин выше среднего, отнесен Лямбирский район. Статистические данные характеризуются сравнительно неплохими показателями. Отсутствие ограждений ЗСО строгого режима на 61 % скважин и водомерных счетчиков на – 91 % является одним из основных факторов, влияющих на снижение уровня технического состояния водозаборных сооружений. По состоянию документации к этому типу относятся три района: Атюрьевский, Лямбирский и Краснослободский. Паспорта в этой группе районов отсутствуют в среднем на 36 % скважин, лицензии не имеют 54 % субъектов хозяйствования, что выше, чем в среднем по Мордовии.

В **третий тип районов** со средним уровнем технического состояния эксплуатационных скважин включены 6 административных районов: Атяшевский, Кочкуровский, Кадошкинский, Ковылкинский, Краснослободский и Теньгушевский, которые в целом характеризуются удовлетворительным состоянием павильонов, ограждений и т. д. В состав показателей, снижающих общий уровень технического состояния скважин, входит отсутствие кранов и приборов учета водопотребления. По оценке состояния документации в эту группу входят Ельниковский, Темниковский, Торбеевский, Инсарский, Рузаевский и Чамзинский районы, в которых в среднем на 46 % скважин нет паспортов, а лицензию на право добычи подземных вод имеют лишь 30 % водопользователей.

В **четвертый тип районов** включены 10 районов – Ардатовский, Большеберезниковский, Большеигнатовский, Ельниковский, Zubovo-Полянский, Инсарский, Ромодановский, Темниковский, Торбеевский, Чамзинский, в которых уровень технического состояния водозаборных сооружений ниже, чем в среднем по республике. Ограждение ЗСО строгого режима здесь отсутствует на 80 – 90 % скважин, устья не зацементированы в среднем на 70 % скважин. Значительное их число (более 80 %) не оборудованы кранами для отбора проб воды. От 90 до 100 % скважин не имеют водомерных счетчиков. К типу территорий, где качественное состояние документации ниже среднего, относятся 7 районов: Ардатовский, Атяшевский, Zubovo-Полянский, Кадошкинский, Ковылкинский, Ромодановский и Теньгушевский. В данной зоне только 20 %

субъектов хозяйствования имеют лицензию на водопользование. Также плохо проводится работа по паспортизации скважин. У водопользователей указанных районов отсутствуют паспорта в среднем на 66 % скважин.

К **пятому типу районов** отнесены Атюрьевский, Дубенский, Ичалковский и Старошайговский районы с низким уровнем технического состояния скважин. Для данной группы районов показатели состояния павильонов и ограждений ЗСО строгого режима значительно ниже, чем в целом по Мордовии. Наличие кранов для отбора проб воды варьирует от 5 % в Атюрьевском до 25 % в Дубенском районах. Водоизмерительные приборы отсутствуют практически на всех водозаборных сооружениях. К этому типу районов по состоянию документации относятся Большеберезниковский, Большеигнатовский, Дубенский, Ичалковский, Кочкуровский и Старошайговский районы. Практически у всех субъектов хозяйствования здесь отсутствуют лицензии на право добычи подземных вод, около 80 % скважин не имеют паспортов.

Причинами ухудшения геоэкологической ситуации в зонах ГТС наиболее часто являются: недоучет природных или несовершенство техногенных систем, что вызывает активизацию в ландшафтах эрозионных процессов, оползнеобразование, обвалообразование, абразию и обрушение берегов, колебание уровня грунтовых вод, проявляющееся в эффектах подтопления и затопления природных комплексов и геотехнических систем; развитие в геосистемах неблагоприятных процессов вследствие отсутствия или недостаточной мощности очистных сооружений, применения устаревших методов очистки и использования вод, трансформирования атмосферного загрязнения, сброса мусора в водоемные источники, превышения предельно допустимых сбросов вредных веществ в воды, отсутствия охладительных систем, отстойников и навозохранилищ, несоблюдения правил хранения минеральных удобрений, правил и норм хранения отходов, сроков внесения минеральных удобрений, потерь воды при водозаборе и транспортировке, распашки земель до берега, отсутствия (недостатка) водохранимых лесонасаждений.

Развитие деструктивных геоэкологических процессов в зонах функционирования гидротехнических систем проявляется в физической и химической трансформации ландшафтов, засорении их строительными, промышленными, бытовыми отходами, истощении ресурсов питьевых вод, уменьшении объема воды в водоемах, исчезновении малых рек, а также в изменении состояния природно-аквальных комплексов – ухудшении кислородного режима вод, их эвтрофикации, нарушении способности воды к самоочищению.

Оптимизация культурного ландшафта в зонах функционирования гидротехнических систем связана обычно с внедрением более совершенных технологических процессов, обеспечивающих снижение водопотребления на единицу продукции; созданием бессточных систем водоснабжения; повторным использованием вод; строительством и реконструкцией очистных сооружений; снижением объема сброса загрязненных сточных вод (за счет ликвидации накопителей сточных вод, утилизации из стоков ценных веществ); захоронением труднообрабатываемых стоков; применением охладительных башен.

### 3.5.6. Горно-технические системы

Горно-технические системы формируются в процессе освоения минерально-сырьевых ресурсов. Характерными элементами антропогенного ландшафта являются карьеры, шахты, терриконники и др. Методические подходы к изучению горно-технических систем изложены в работах Ф. Н. Милькова, В. И. Федотова и других ученых. В контексте экологически безопасного планирования хозяйственного освоения ландшафтов важнейшими аспектами являются установление очередности проведения мероприятий по охране недр и определение масштабов проведения рекультивационных и природоохранных работ.

При развитии базы данных учитывается взаимосвязь горно-технических систем с отраслями промышленности (особенно с горно-добывающей, горно-перерабатывающей), строительством, отраслями сельскохозяйственного производства, транспортом, коммунально-бытовым хозяйством селитебных систем.

Активное освоение месторождений полезных ископаемых сопряжено с ухудшением геоэкологической ситуации в связи с прямым и косвенным изменением геологической среды (активизация эрозионных процессов, оползнеобразование, обвалообразование, западинообразование, дефляция песчаных почв). Среди техногенных факторов, разрушающих ландшафт, нужно выделить неполную переработку полезных ископаемых, несоблюдение правил захоронения отходов, отсутствие рекультивационных работ, нарушение технологий добычи полезных ископаемых, нерациональное использование пустой породы.

Удорожание хозяйственного освоения ландшафтов в горно-технических системах связано с необходимостью внедрения специальных технологических процессов – ресурсосберегающих технологий при добыче и переработке полезных ископаемых, их комплексной переработки. Формирование культурного ландшафта обеспечивается комплексным геологическим изучением недр, рекультивацией земель: нанесение почвенного слоя, лесонасаждение на местах отвалов, заполнение карьеров водой; сельско-, водо- и лесохозяйственное использование территорий горных разработок.

Увеличение добычи минеральных ресурсов должно сочетаться с сохранением площади сельскохозяйственных земель, зеленых насаждений, восстановлением мест обитаний животных, сохранением здоровья населения и комфортной среды.

В качестве примера геоэкологического анализа горно-технических систем рассмотрим добычу цементного сырья на Алексеевском месторождении. Особенности развития геоэкологических процессов определяются положением горно-технических систем Алексеевского месторождения в лесостепных ландшафтах пластово-ярусной Приволжской возвышенности.

Литогенную основу ландшафтов составляют породы меловой, палеогеновой и четвертичной систем. Нижний отдел меловой системы представлен альбским ярусом. Он является самым древним, вскрытым на участке разведочными скважинами. Ярус представлен глинами темно-серыми с зеленоватыми оттенками, слюдистыми, слабопесчаными. Вскрытая мощность 3,0 – 10,0 м, кровля глин размыта. Верхний отдел включает кампанский и маастрихтский ярусы.

Отложения кампанского яруса залегают на размытой поверхности альбских глин и представлены двумя пачками: нижняя мощностью 1,8 – 7,8 м сложена мергелями зеленовато-серого цвета, неравномерно-глинистыми, ожелезненными, верхняя мощностью 1,5 – 13,5 м представлена глинами серого и темно-серого цвета, плотными, алевритистыми, слюдистыми, с пятнами ожелезнения. Эти глины подстилают полезную толщу. На глинах кампанского яруса залегают мел-мергельная толща маастрихта. В основании разреза отмечается маломощный (0,2 – 0,5 м) прослой сильноглинистого глауконитового мергеля. Выше залегает мергель зеленовато-серого цвета, плотный, неравномерно-глинистый, трещиноватый. По плоскостям трещины с пятнами гидроокислов железа. Мощность мергеля по участку 4,0 – 5,0 м. На мергелях залегают мощная пачка мела. Мел слабоглинистый, к подошве – глинистый, серовато- или желтовато-белый, трещиноватый, неравномерной плотности, в кровле часто рыхлый, сильно выветренный, разрушенный до состояния щебенки. Трещины заполнены в кровле чаще всего серовато-коричневой глиной, а с глубиной – рыхлым мелом с обломками крепких разностей. Мощность мела на участке изменяется до 25,0 м.

Нижний отдел палеогена представлен нижнесызранской свитой. Ее отложения залегают на размытой поверхности меловых пород, представлены опоками зеленовато-серого цвета, плотными, крепкими, трещиноватыми, местами разрушенными до глинисто-щебеночного состояния, с прослоями кремнистой опоки. Ненарушенные плотные разновидности чередуются между собой, но по простиранию это чередование не прослеживается. Мощность опок до 25,7 м.

Четвертичные отложения представлены маломощными современными элювиальными и делювиальными образованиями. Их мощность от 0,2 до 16,4 м. В днищах эрозионных форм рельефа распространены пролювиальные отложения.

Абсолютные высоты на окружающих останцовых массивах, сложенных кремнисто-карбонатными породами, до 300 м, а в седловинной форме рельефа, где расположен карьер, – до 275 м. Уменьшение абсолютных высот происходит на восток и запад к долинам малых рек. Почти повсеместно на водораздельных массивах и крутых склонах наблюдаются выходы карбонатных и кремнисто-карбонатных горных пород. На нижних участках склонов они перекрыты маломощными (2 – 5 м) четвертичными образованиями. Активно развиваются эрозионные процессы, формирующие малые формы рельефа – балки, овраги, конусы выноса и др. Для балок характерна инсоляционная асимметрия склонов. Их днища часто имеют вторичный эрозионный врез. Для оврагов характерны V-образные формы с высотой склонов до 40 м. На склонах под действием временных водотоков формируются рытвины и промоины, глубиной до 1 м и длиной от нескольких десятков до 300 м.

При поисковых и разведочных работах на участке выделены два водоносных горизонта. Верхний приурочен к нижней части опоки. Водоупором ему служат маломощный линзовидный прослой шоколадно-коричневых глин, подстилающих опоку, или мергельно-меловая толща маастрихта. Последняя в силу своей трещиноватости и пористости является относительным водоупором. Нижний горизонт приурочен к нижней части мел-мергельных пород маастрих-

та. Водоупором служат подстилающие полезную толщу глины кампанского яруса. Горизонт безнапорный. Таким образом, водоносные горизонты, имеющиеся на территории месторождения, не являются препятствием при его эксплуатации. Они дренируются системой естественных оврагов. Выходов подземных вод в карьере не отмечено.

На водораздельных и приводораздельных пространствах, где на дневную поверхность выходят кремнисто-карбонатные породы палеогенового возраста (опоки, мергели), серые лесные почвы в своем профиле содержат разное количество щебня. В соответствии с этим выделяются слабо-, средне- и сильнощебнистые почвы. Характерно активное развитие процессов плоскостной эрозии. Наиболее плодородными в районе исследования являются черноземы. Они распространены к востоку от месторождения и находятся вне зоны его воздействия. Почвообразующими породами являются лессовидные суглинки и глины, содержащие карбонаты. В гидроморфных условиях отрицательных форм рельефа (на нижних участках склонов, в западинах) распространен лугово-черноземный тип почв.

На прилегающей территории распространены небольшие массивы широколиственных лесов, а к востоку от карьера в прошлом существовали кустарниковые и луговые степи. В настоящее время они полностью распаханы. Основными лесообразующими породами являются дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клен платановидный, вяз гладкий, бородавчатая и пушистая береза, ольха клейкая, липа мелколистная, тополь черный. Древесные породы в лесных массивах имеют разную высоту, поэтому создается впечатление многоярусности. Самые высокие деревья – дуб, ясень, более низкие – клен остролистный, вяз, липа. В кустарниковом покрове господствует орешник, обычны бересклет бородавчатый, жимолость лесная, крушина ломкая, шиповник и др. В широколиственном лесу хорошо развит травяной покров из сныти обыкновенной, осоки волосистой и так называемого дубравного широколистного.

**Условия залегания полезной толщи и качественная характеристика сырья.** Полезная толща участка, представленная мелом и мергелем маастрихта, залегает на глинах кампанского яруса верхнего мела и перекрывается палеогеновыми и четвертичными образованиями. В районе выработки полезная толща залегает пластообразно на неровной поверхности глин. Абсолютные отметки подошвы карбонатной толщи колеблются от 233,5 до 248,2 м. Общее ее понижение наблюдается от абсолютной отметки 243 – 247 м на северо-западе участка до абсолютной отметки 237 – 239 м на юго-востоке. Средняя мощность карбонатной толщи по участку составляет 16,47 м.

Вскрышные породы представлены в основном почвенно-растительным слоем мощностью 0,2 – 0,4 м и делювиальными суглинками с прослоями глин и песчано-гравийных пород мощностью до 10,3 м.

**Геоэкологический анализ зоны непосредственной разработки горных пород.** В зоне непосредственного ведения горных работ и размещения основных технологических объектов, влияющих на изменение состояния недр, выделены подзоны: добычного уступа; вскрышного уступа; смешанного уступа; отвала; рекультивации.

Породы, слагающие месторождение, при сильной обводненности склонны к оползанию, что осложняет их отработку. Это происходит за счет просачивающихся грунтовых вод и атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на обрабатываемую площадь карьера. Для предотвращения развития деструктивных геоэкологических процессов проводится осушение карьера путем проходки дренажных канав по кровле мергельно-мелового уступа в призабойном пространстве, по которым производится сброс паводковых и дождевых вод в естественные овраги. Для отвода поверхностных вод вдоль рабочего фронта карьера на расстоянии, обеспечивающем годовое продвижение уступов, бульдозером проходится канава глубиной 0,8 – 1,0 м. Спуск перехваченных паводковых вод осуществляется в ближайшие овраги. Водоотлив с подошвы мергельно-меловых пород осуществляется с помощью устройства канав, которые отводят воду к зумпфам, откуда она насосами, при необходимости устанавливаемыми в передвижных станциях, откачивается за борт карьера в пониженные точки рельефа.

Общекарьерные потери (под капитальными выработками, зданиями и сооружениями), потери в бортах, в кровле залежи мергельно-меловых пород отсутствуют, поскольку при разработке вскрышных пород на кровле оставляют минимальный слой опоки, являющийся глинистой добавкой сырьевой смеси. В целях исключения разубоживания мергельно-меловых пород подстилающими запесоченными глинами, которые при попадании в сырьевую смесь ухудшают качество цемента, в подошве добычного уступа оставляется слой полезного ископаемого мощностью 0,2 м.

В условиях Алексеевского месторождения эксплуатация карьера в зимнее время осложняется обильным выпадением снега, что способствует образованию заносов железнодорожных путей. Их очистка производится бульдозерами. Для снижения пылевыделения при транспортных работах в летнее время производится регулярная поливка автодороги.

Актуальной задачей является рекультивация (восстановление) отработанных площадей и отвалов. Геоэкологический анализ состояния зон рекультивации показывает целесообразность проведения лесовосстановительных мероприятий.

**Геоэкологический анализ зоны существенного влияния разработки месторождения на состояние ландшафтов и периферийной.** В зоне существенного влияния разработки месторождения на различные компоненты геологической среды и периферийной выделены подзоны:

1-я – склонов, сложенных кремнисто-карбонатными и карбонатными породами перекрытыми маломощными элювиально-делювиальными образованиями с серыми лесными щебнистыми почвами;

2-я – нижних участков склонов, сложенных делювиальными и болотными отложениями с черноземными и болотными почвами;

3-я – лощинно-балочных комплексов с аллювиально-делювиальными отложениями с дерново-глееватыми почвами.

Геокомплексы первого типа расположены на останцовых водораздельных массивах. Их литогенная основа представлена элювиальными суглинками с об-

ломочным материалом. Размер обломков из-за выветривания, действующего на поверхности быстрее, чем на глубине, увеличивается к подошве. Поверхность обломков мергеля и опок не обработана. На склонах под действием временных водотоков формируются рытвины и промоины.

В бортах лощинно-балочных комплексов преобладают смешанные элювиально-делювиальные образования. Выделяются две разновидности отложений – смещенный щебень и смещенные почвогрунты. В них проявляется слабо-выраженная слоистость. Длинные оси обломков часто ориентированы по направлению падения склонов, что свидетельствует об активном развитии склоновых процессов при выпадении дождей и таянии снега. Отложения характеризуются увеличением мощности, улучшением сортированности и обработанности материала по направлению к нижним частям склонов. Их состав близок к составу пород, слагающих склон.

В днищах балок распространены пролювиальные образования, сложенные плохо сортированным щебнем, суглинком, песком. В их эрозионных формах вскрываются пролювиально-делювиальные отложения, которым свойственно чередование щебнистых и суглинистых образований. На бортах балок выделяются небольшие оползни.

В восточной части района исследования вдоль уступа олигоценовой поверхности выравнивания на карбонатных отложениях верхнего мела незначительное распространение имеют остаточнок-карбонатные черноземы. На участках разгрузки подземных вод распространены лугово-черноземные и лугово-болотные почвы. Они имеют темноокрашенный гумусовый горизонт. Профиль почвы постоянно переувлажнен. Оглеенность прослеживается по всему профилю в виде сизоватых и ржавых пятен. Грунтовые воды часто находятся в пределах почвенного профиля.

Проведенный геоэкологический анализ показал, что в зоне существенного влияния разработки месторождения на различные компоненты геологической среды и периферийной (фоновый мониторинг) происходит усиление поверхностного стока, что сопровождается активизацией плоскостной эрозии на склонах и донной эрозии в днищах балок. Активизации других деструктивных геоэкологических процессов не отмечено.

Геоэкологический анализ Алексеевского месторождения мергелисто-меловых пород и опок показал, что сформированные горно-технические системы характеризуются простыми гидро-, инженерно- и горно-геологическими условиями разработки. Процессы трансформации геологической среды в геоконструкциях связаны с целенаправленной хозяйственной деятельностью, сопутствующие антропогенные комплексы не выражены. Перестройки структуры ландшафтов и экосистем в лесных и сельскохозяйственных комплексах вне зоны земельного отвода не отмечено. Используемые технологии добычи и транспортировки сырья исключают возможность загрязнения геологической среды. Особенности литогенной основы ландшафтов и трофность геоконструкций определяют целесообразность проведения лесной рекультивации.

Сопоставление свойств и состояния геологической среды на Алексеевском месторождении мергелисто-меловых пород и опок с «Требованиями к мо-

ниторингу месторождений твердых полезных ископаемых» [2000] показывает, что объект должен быть отнесен к классу 1. В соответствии с этим на месторождении достаточно вести стандартные наблюдения, связанные с платежами за добычу полезного ископаемого и с компенсационными выплатами за ущерб окружающей среде.

### **3.5.7. Рекреационные природно-социально-производственные системы**

Рекреационные системы в своем развитии тесно связаны с селитебными, лесохозяйственными и гидротехническими. Геоэкологические конфликтные ситуации обусловлены развитием техногенных и антропогенных факторов – сельскохозяйственной деятельностью, бесконтрольным сбором лекарственных растений, превышением рекреационных нагрузок на природные комплексы, нарушением правил пожарной безопасности, а также загрязнением среды, разорением мест обитания редких растений и животных, несоблюдением норм строительства и эксплуатации геотехнических систем в рекреационных зонах.

Рекреационное освоение территории без учета устойчивости ландшафтов сопровождается активизацией дефляции почв, развитием таких деструктивных геоэкологических процессов, как физическое истребление растительности, сведение ягодников, грибов, ценных растений, загрязнение экосистем тяжелыми металлами, засорение рекреационных участков отбросами в результате неорганизованного отдыха, уничтожение лесов пожарами, исчезновение ценных и редких видов растений, сведение лесов для строительства рекреационных объектов, изменение ареалов обитания животных.

В базах данных о рекреационном освоении ландшафтов отражаются нормы рекреационных нагрузок, обустройство рекреационных зон, устройство зеленых зон городов, охрана и обогащение животного мира, комплекс мероприятий по улучшению условий жизни и отдыха людей [Ямашкин, 2001].

Рекреационное освоение территории связано не только с созданием национальных парков, особо охраняемых природных территорий, но и с проведением комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию использования природно-ресурсного потенциала культурных ландшафтов. Опыт планирования культурного ландшафта изложен в коллективной монографии «Мордовский национальный парк "Смольный"» [2000]. В данном разделе ограничимся углубленным анализом ландшафтной структуры территории парка и оценкой устойчивости природных территориальных комплексов к отдельным типам антропогенной нагрузки.

**Морфологическая структура ландшафтов.** Особенностью ландшафтной дифференциации территории Мордовского национального парка «Смольный» является хорошо выраженная склоновая смена природных территориальных комплексов от внутренних водораздельных пространств Алатыря и Пьяны к пойме Алатыря. Склоновая мезозональность ориентирована к Алатырю и его крупным притокам: Язовке, Калыше, Барахманке. Эта закономерность определяется пространственными изменениями элементов литогенной

основы ландшафтов: генетических типов четвертичных отложений (водно-ледниковых, аллювиально-водно-ледниковых, древне- и современных аллювиальных отложений), их мощности (от 0,5 до 20 м), глубины залегания грунтовых вод, изменения активности экзогенных геолого-геоморфологических процессов (эрозионных, склоновых, суффозионных и др.). Особенности литогенной основы природных территориальных комплексов определяют перераспределение тепла и влаги, структурно-функциональные характеристики геосистем и их устойчивость к антропогенным воздействиям.

В склоновой смене природных территориальных комплексов принимают участие местности: 1) водно-ледниковой (зандровой) равнины; 2) аллювиально-водно-ледниковой (аллювиально-флювиогляциальной) равнины; 3) надпойменных террас; 4) поймы. Небольшой массив территории национального парка расположен на правом коренном склоне долины Алатыря, в верховьях оврагов Явлейка, Каменный и Межевой. Это часть вторичной моренной равнины.

**А. Местность вторичной моренной равнины.** Литогенная основа ландшафтов представлена суглинками, подстилаемыми песчано-глинистыми отложениями нижнего мела. Абсолютные отметки высот рельефа от 130 до 190 м. Формирование природных территориальных комплексов определяется активным развитием склоновых процессов. В структуре почвенного покрова преобладают светло-серые и серые суглинистые почвы. В состав древостоя дубрав входят клен остролистный, вяз, липа. В подлеске – лещина, бересклет бородавчатый. В напочвенном покрове – сныть, пролесник многолетний, звездчатка жестколистная, ясменник душистый.

В морфологической структуре ландшафтов выделяются следующие урочища: 1) покатые склоны, сложенные маломощными делювиальными суглинками, подстилаемыми верхнеюрскими песчано-глинистыми отложениями, со светло-серыми и серыми лесными суглинистыми почвами под дубравами лещинно-осоково-снытевыми; 2) пологие склоны, сложенные делювиальными суглинками, подстилаемыми нижнемеловыми песчано-глинистыми отложениями, с серыми лесными суглинистыми почвами под дубравами лещино-осоково-снытевыми (липовые и дубово-липовые леса); 3) крутые склоны, сложенные маломощными делювиальными суглинками, с выходами на дневную поверхность нижнемеловых пород, с серыми лесными суглинистыми и смыто-намытыми почвами под дубово-липовыми лещинно-снытевыми лесами.

**Б. Местность водно-ледниковой (зандровой) равнины.** Местность занимает верхнюю гипсометрическую ступень с абсолютными отметками от 150 до 220 м в северной части национального парка. Она сложена маломощными водно-ледниковыми песками (до 1,0 м), подстилаемыми нижнемеловыми терригенными песчано-глинистыми отложениями, реже моренными суглинками. В верховьях Барахманки, Удальца и Язовки коренные отложения (глины) на водораздельных пространствах вскрываются на глубине 0,2 – 0,4 м. Особенности функционирования ПТК определяются также преобладанием нисходящих движений гравитационных, грунтовых и подземных вод с частичной их разгрузкой в верховьях гидрографической сети. В структуре почвенного покро-

ва мозаично сочетаются светло-серые, дерново-подзолистые и подзолистые песчаные, супесчаные, реже песчанисто-легкосуглинистые почвы.

В естественной растительности преобладают дубовые и дубово-липовые леса, прерываемые сменившими их мелколиственными насаждениями. В состав дубрав входят значительной примесью липа, ясень, вяз, клен, осина, береза. В подлеске распространены липа, орешник, крушина, жимолость, волчье лыко. В травяном покрове характерно присутствие папоротников, широколистных высокорослых злаков (бор развесистый, овсяница гигантская, овсяница высочайшая), а также других одно- и двудольных (любка зеленоцветковая, купенанногоцветковая, борец высокий, сныть обыкновенная, колокольчик крапиволистный, фиалка удивительная, зубянка пятилистная, ясменник душистый, пролесник многолетний и др.). Во внутримеждуречных пространствах Удальца и Калыши встречаются торфяники, для которых характерны такие виды, как багульник болотный, росянка круглолистная, осока топяная, голубика, касандра (мирт болотный), клюква и др.

*Плакорные урочища.* Для этой группы природных территориальных комплексов характерна система слабопроточных, почти не выраженных в рельефе замкнутых и полузамкнутых западин, котловин, редкая сеть тальвегов. Доминантными урочищами являются: 1) плоские междуречные пространства, сложенные маломощными (до 1 м) песками и супесями, подстилаемыми суглинками или глинами, с дерново-слабоподзолистыми и светло-серыми лесными супесчаными и легкосуглинистыми почвами под липовыми и дубово-липовыми лесами, осинниками и березняками; 2) слабоволнистые междуречные пространства, сложенные маломощными (до 1 м) песками, подстилаемыми суглинками и глинами, с дерново-слабоподзолистыми и светло-серыми супесчаными почвами под липовыми лесами и осинниками; 3) слабовыпуклые междуречные пространства, сложенные песками и супесями, подстилаемыми с глубины около 1 м и менее суглинками или глинами, со слабоподзолистыми и светло-серыми супесчаными почвами под липовыми лесами и осинниками; 4) плоские междуречные пространства с западинными формами рельефа, сложенные маломощными песками и супесями, подстилаемыми суглинками или глинами, с преобладанием в структуре почвенного покрова дерново-средне- и слабоподзолистых, в днищах водосборных понижений глееватых супесчаных почв под дубово-сосновыми, липово-сосновыми осоково-снытевыми лесами и березняками; 5) плоские междуречные пространства с котловинными (древнеозерными) формами рельефа, подстилаемые суглинками или глинами, с подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами под сосняками разнотравными, березняками вейниковыми, осинниками осоково-снытевыми.

*Урочища склонов и водосборных понижений при верховьях эрозионных форм на междуречных равнинах:* 6) пологие склоны, сложенные песками, подстилаемыми с глубины около 1,5 – 2,0 м коренными песчано-глинистыми отложениями, с дерново-средне- и слабоподзолистыми, дерново-подзолисто-глееватыми почвами под сосняками и березняками вейниковыми, по пониженным участкам липовыми и дубово-липовыми лещинно-осоково-снытевыми лесами и березняками; 7) пологие склоны, сложенные песками, подстилаемыми с

глубины 1 м и менее песчано-глинистыми отложениями, с дерново-слабоподзолистыми и дерново-подзолисто-глееватыми почвами под дубовыми и липовыми лещинно-осоково-снытевыми лесами, осинниками и березняками; 8) покатые склоны, сложенные песками, подстилаемыми глинами с глубины 1 м и менее, с дерново-слабоподзолистыми и дерново-подзолисто-глееватыми почвами под дубово лещинно-осоково-снытевыми лесами и осинниками.

*Урочища водосборных понижений при верховьях эрозионных форм:* 9) пологовогнутые понижения со слаборазвитой донной поверхностью, сложенные среднемошными песками, с подзолистыми, а по понижениям – подзолистыми глееватыми песчаными и супесчаными почвами под дубовыми и дубо-волиповыми лещинно-осоково-снытевыми лесами, осинниками и березняками; 10) плоскодонные понижения со слаборазвитыми пологими склонами, сложенные песками, с подзолистыми, а по понижениям – подзолистыми глееватыми песчаными и супесчаными почвами под дубовыми лещинно-осоково-снытевыми лесами, осинниками и березняками; 11) полого-вогнутые понижения со слаборазвитой донной поверхностью, сложенные маломощными песками с дерново-подзолистыми, часто глееватыми песчаными и супесчаными почвами под дубовыми лещинно-осоково-снытевыми лесами.

***В. Местность аллювиально-водно-ледниковой равнины.*** Местность занимает высотный интервал от 120 до 150 м. Она сложена песками (среднемошными), подстилаемыми песчано-глинистыми породами нижнемелового и юрского возрастов. В этой части склоновой смены природных территориальных комплексов наряду с нисходящим движением водных масс значительны латеральные потоки воды, периодически выходящие на дневную поверхность весной и во время дождей. Здесь сформирована сравнительно густая и глубокая гидрографическая сеть. В структуре почвенного покрова преобладают подзолистые и дерново-слабо- и среднеподзолистые песчаные и супесчаные почвы. В естественной растительности преобладают смешанные леса с сосной, елью, липой, дубом. Появление ели приурочено главным образом к сырým понижениям отрицательных форм рельефа. Ель растет попеременно с ясенем, дубом, липой, осиной, березой, сосной. Для подлеска характерны лещина обыкновенная, бересклет бородавчатый, можжевельник. В травянистом покрове ель сопровождают северные виды: кислица, линнея, грушанки (круглолистная, малая), ортилия однобокая, папоротники (страусник обыкновенный, орляк обыкновенный), которые территориально соседствуют с дубравными элементами (овсяница высочайшая, мятлик дубравный, ландыш майский, копытень европейский, сныть обыкновенная, звездчатка жестколистная и др.).

*Урочища аллювиально-водно-ледниковых равнин:* 1) плоские слабоволнистые поверхности, сложенные мощными песками, со слабоподзолистыми (в понижениях с поверхностным оглеением) песчаными почвами под сосновыми зеленомошными лесами и березняками; 2) плоские слабоволнистые поверхности, сложенные мощными песками с прослоями суглинков, с подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами (в понижениях с поверхностным оглеением) под дубово-сосновыми осоково-снытевыми лесами, осинниками и березняками; 3) слабоволнистые поверхности, сложенные песками, подстилаемыми с глу-

бины 1,5 – 2,0 м песчано-глинистыми отложениями, с дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами (в понижениях с поверхностным оглеением) под сосняками разнотравными, липово-сосновыми осоко-снытевыми, реже дубовыми лещинно-осоково-снытевыми лесами; встречаются небольшие массивы сосняков с елью; вторичные леса представлены осинниками и березняками; 4) пологие склоны, сложенные песками, подстилаемыми с глубины 1,5 – 2,0 м песчано-глинистыми отложениями, с подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами преимущественно под сосняками и березняками вейниковыми; 5) слабоволнистые поверхности, сложенные песками, подстилаемыми с глубины 1 м и менее песчано-глинистыми отложениями, с дерново-подзолистыми почвами (в понижениях с поверхностным оглеением) под дубравами лещино-осоко-снытевыми, осинниками. Встречаются небольшие массивы смешанных лесов с елью; 6) пологие склоны, сложенные песками, подстилаемыми с глубины 1 м и менее песчано-глинистыми отложениями, с дерново-подзолистыми супесчаными почвами под дубняками лещинно-осоково-снытевыми, осинниками и березняками; 7) покатые склоны, сложенные песками, подстилаемыми с глубины 1 м и менее песчано-глинистыми отложениями, с дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами под дубняками лещинно-осоково-снытевыми, осинниками и березняками; 8) плоские склоны с западными формами рельефа, сложенные песками, подстилаемыми с глубины 1 м и менее песчано-глинистыми отложениями, с дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами (по отрицательным формам рельефа – глееватыми) под липово-сосновыми осоково-снытевыми лесами и березняками; 9) пологие склоны, сложенные делювиальными суглинками, с дерново-подзолистыми и серыми лесными суглинистыми почвами под осинниками и березняками.

**Г. Местность надпойменных террас.** Местность занимает высотный интервал от 100 до 120 м на юге национального парка. Она сложена преимущественно древнеаллювиальными песками, имеющими мощность более 10 м. Отложения обладают хорошими фильтрационными свойствами. С движением грунтовых вод связаны активные суффозионные процессы, что проявляется в довольно широком распространении пологих бессточных воронок и западин.

С развитием суффозионных процессов, вероятно, связаны многие обрывистые склоны террас к пойме Алатыря. Характерной чертой рельефа этой местности является широкое распространение древнеэоловых форм рельефа (дюн и котловин выдувания). Эти особенности литогенной основы ландшафта обуславливают довольно хорошую выраженность фациальной микропоясности: на вершинах бугров (дюн) боры-беломошники на слабогумусированных песках, по склонам – боры-зеленомошники на дерново-слабоподзолистых почвах, у основания – боры-долгомошники на дерново-глеевых почвах, в западинах – небольшие сфагновые болота на торфянистых торфяно-глеевых почвах. Степень выраженности фациальной микропоясности увеличивается с востока на запад.

**Урочища надпойменных террас:** 1) слабоволнистые поверхности, сложенные мощными толщами песка, со слабоподзолистыми и дерново-слабоподзолистыми песчаными почвами под сосняками вейниковыми и мелколист-

венными лесами; 2) грядово-бугристые поверхности с многочисленными, хорошо выраженными древнеэоловыми формами рельефа (превышение поверхностей дюн над западинами до 5 м), со слабоподзолистыми и слаборазвитыми песчаными почвами под борами-беломошниками и борами-зеленомошниками, мелколиственными лесами; 3) волнисто-бугристые поверхности, сложенные мощными толщами песка, со слабоподзолистыми, местами с признаками оглеения супесчаными почвами под сложными сосняками с елью, дубом, а также мелколиственными лесами; 4) волнистые поверхности с широким распространением замкнутых и полузамкнутых суффозионных западин, со слабоподзолистыми и дерново-слабоподзолистыми песчаными почвами под сосняками вейниковыми и мелколиственными лесами; 5) слабоволнистые поверхности, сложенные мелкими и пылеватыми песками, подстилаемыми на глубине около 1 м сильноопесчаненными суглинками, со средне- и сильноподзолистыми, часто глеевыми почвами под сосновыми или березово-сосновыми лесами с примесью ели и дуба и мелколиственными лесами.

*Склоны надпойменных террас:* 6) пологие склоны, сложенные песками, с дерново-подзолистыми и подзолистыми песчаными и супесчаными почвами под сухотравными борами (сосновые, березово-сосновые, сосново-березовые и березовые леса); 7) пологопокатые склоны, сложенные мощными песками, с дерново-подзолистыми, подзолистыми, дерново-подзолистыми глееватыми песчаными и супесчаными почвами с борами лишайниковыми, зеленомошно-брусничными, березово-осиновыми зеленомошными, березовыми и березово-осиновыми мелкотравными лесами; 8) покатые склоны, сложенные песками с прослоями суглинков, с дерново-подзолистыми, преимущественно супесчаными, почвами под сосняками зеленомошными; 9) пологовогнутые склоны, сложенные мощными песками с прослоями суглинков, с дерново-подзолистыми, подзолистыми, дерново-подзолистыми глееватыми, подзолисто-глееватыми почвами под борами лишайниковыми, зеленомошно-брусничниковыми, березово-осиновыми зеленомошными, березовыми и березово-осиновыми мелкотравными лесами. Встречаются небольшие массивы смешанных лесов.

**Д. Местность пойм.** Пойма Алатыря имеет субширотное протяжение в южной части национального парка и расположена на высоте около 100 м. Основные притоки Алатыря имеют субмеридиональное направление. Мощность аллювиальных отложений возрастает с севера на юг. Они представлены песками с прослоями суглинков.

*Пойменные урочища:* 1) выровненные поверхности, сложенные аллювиальными песками, с прослоями суглинков с аллювиальными дерновыми суглинистыми и супесчаными почвами под лесами с осиной, липой, дубом, вязом; 2) мелковолнистые поверхности, сложенные аллювиальными отложениями, с аллювиальными дерновыми слоистыми и аллювиальными дерновыми зернистыми супесчаными, легко- и тяжелосуглинистыми почвами под клеверово-разнотравно-злаковыми и мятликово-разнотравными лугами; 3) понижения с болотными низинными обедненными торфяными почвами, формирующимися на безлесных болотах с растительным покровом из осок, евтрофных видов

сфагновых мхов или сосново-березовыми разреженными лесами низкого бонитета.

**Е. Природные территориальные комплексы овражно-лощинно-балочной сети:** 1) лощины, неглубоко врезанные, с сырыми и мокрыми днищами, дерново-подзолистыми глеевыми и дерново-глеевыми супесчаными и суглинистыми почвами под осиново-широколиственными лесами; 2) балки разной степени дренированности с ручьями (балочные долины ручьев), часто врезанными в днища, сложенные аллювиально-делювиальными песчаными, супесчаными, суглинистыми отложениями с дерново-грунтово-глеевыми, по склонам – со смыто-намытыми почвами под осиново-черноольховыми лесами с ивой влажнотравно-щучково-осоковыми фитоценозами и приручьевыми ельниками; 3) балки влажные и сырые под влажнотравно-злаковыми лугами и осиново-широколиственными папоротниково-широкотравно-влажнотравными лесами на дерново-поверхностно-глееватых и дерново-грунтово-глеевых почвах; 4) балки заболоченные под черноольхово-широколиственными болотнотравно-осоковыми лесами на перегнойных поверхностно-глеевых и торфянисто-подзолистых поверхностно-оглеенных почвах различного механического состава, залегающих на водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях; 5) балки с наносными суглинистыми почвами, с байрачными дубравами – дуб, липа, осина, в подлеске – лещина, в напочвенном покрове – крапива, сныть.

**Ж. Природные территориальные комплексы котловин, западин, понижений:** 1) котловины (древнеозерные), сложенные делювиальными, древнеозерными и торфяными отложениями до 2 – 3 м, с торфяными и перегнойно-торфяными почвами под редкостойными сосново-березовыми травянисто-сфагновыми лесами, заболоченные по верховому типу; 2) заболоченные понижения с перегнойно-подзолисто-глеевыми, перегнойно-глеевыми почвами под редкостойными преимущественно березовыми лесами с пушицево-осоковым, влажнотравно-полевицево-щучковым, пушицево-сфагновым покровом, с заболачиванием по низинному типу; 3) западины со слабоподзолистыми глееватыми, подзолисто-глееватыми и мелкоболотными почвами низинного типа с влажнотравно-осоковыми сообществами с ивой.

Доминантными урочищами на территории парка являются природные комплексы водно-ледниковых равнин (43,35 %). Субдоминантными являются урочища надпойменных террас (27,42 %). К категории редких урочищ относятся геокомплексы западин. Наибольший интерес в парке представляют заболоченные котловины – урочища-одиночки.

**Устойчивость природных комплексов к антропогенному воздействию.** Районирование территории национального парка по устойчивости природных комплексов к строительству проводилось с учетом грунтов, глубины залегания грунтовых вод, уклона поверхности, горизонтальной расчлененности, подверженности территории экзогенным геологическим процессам. В качестве территориального носителя информации об устойчивости литогенной основы ландшафтов использовались ПТК ранга урочище. В соответствии с принятыми показателями и критериями по степени устойчивости природных комплексов к строительству выделены следующие районы.

1. Весьма устойчивые – природные комплексы вторичных моренных и водно-ледниковых равнин (урочища А и Б, кроме А3, Б8 – 11).

2. Устойчивые – природные комплексы аллювиально-водно-ледниковых равнин (урочища В, А3, Б8 – 11).

3. Слабоустойчивые – природные комплексы древнеаллювиальных равнин (урочища Г).

4. Неустойчивые – природные комплексы пойм, балок, лощин и долин ручьев (урочища Д).

5. Весьма неустойчивые – природные комплексы торфяников (урочища Ж).

Оценка устойчивости ПТК к рекреационным нагрузкам основывается на анализе грунтов, глубины залегания грунтовых вод, мощности гумусового горизонта, механического состава почв, растительности. На основе анализа характеристик природных комплексов выделены следующие их группы по степени устойчивости к рекреационным нагрузкам.

1. Весьма устойчивые – природные комплексы вторичной моренной равнины (урочища А1, А2).

2. Устойчивые – природные комплексы вторичной моренной равнины (урочища А3), водно-ледниковой равнины (урочища Б1 – 3, Б7 – 11, аллювиально-водно-ледниковой равнины (урочища В6 – 7, В9).

3. Слабоустойчивые – природные комплексы водно-ледниковой равнины (урочища Б3 – 6, В1 – 5, В8).

4. Неустойчивые – природные комплексы надпойменных террас (урочища Г).

5. Весьма неустойчивые – природные комплексы котловин, западин.

Анализ содержания тяжелых металлов в почвах национального парка показал, что концентрация большинства химических элементов здесь ниже средних фоновых значений в почвах Мордовии. Повышенное содержание некоторых химических элементов (марганца, кобальта, меди и реже – циркония и галлия) наблюдается на территории Александровского лесничества севернее п. Калыша и, вероятно, связано с уменьшением толщи песчаных флювиогляциальных отложений.

Концентрация большинства химических элементов в снеговой пыли близка к их фоновым значениям в почвах Мордовии. Обобщенный геохимический индекс существующей техногенной нагрузки на территорию парка имеет вид:  $Ag_{106,4} Sc_{10,6} Zn_{4,6} Sr_{3,6} Pb_{3,4} Sn_{2,5}$ . Высокая концентрация серебра и цинка на всей территории парка связана со способностью снега аккумулировать эти химические элементы. Аномальное содержание свинца и олова в снеговой пыли наблюдается в с. Гуляево, севернее с. Кергуды и вдоль автодороги Саранск – Большое Игнатово. Образование данных аномальных зон можно объяснить загрязнением окружающей среды выбросами автотранспорта. Высокая концентрация в снежном покрове скандия объясняется загрязнением окружающей среды пылевыми выбросами котельных установок, использующих в качестве топлива уголь и нефтепродукты.

Расположение парка на ландшафтах смешанных лесов водно-ледниковых равнин, характеризующихся преобладанием отложений легкого механического состава с хорошей водопроницаемостью, не способствует накоплению в почвах загрязняющих веществ. И только севернее п. Калыша, где мощность флювиогляциальных песков уменьшается, наблюдаются слабоаномальные концентрации в почвах марганца, кобальта, циркония, ниобия, свинца и галлия.

В почвах пойменных природных комплексов возрастает количество глинистых и илистых частиц. Это приводит к накоплению в них химических веществ. Однако среднее содержание большинства тяжелых металлов не превышает их фоновых концентраций в почвах Мордовии.

Анализ устойчивости ПТК к антропогенным воздействиям (строительство дорог и других инженерных сооружений, рекреационное и лесохозяйственное использование) показал, что на территории парка преобладают устойчивые природные комплексы. Наименьшая площадь приходится на ПТК, весьма неустойчивые к этим видам антропогенного воздействия. Лимитирующими факторами устойчивости в этих природных комплексах являются близкое залегание грунтовых вод, распространение слабогумусированных песков, заторфованных и илистых грунтов.

Для строительства дорог и других инженерных сооружений наиболее пригодны весьма устойчивые (31,91 % от площади национального парка) и устойчивые (30,78 %) ПТК. На долю неустойчивых и весьма неустойчивых к строительству ПТК приходится 9,84 % всей площади. На долю ПТК, весьма устойчивых и устойчивых к рекреационному воздействию, приходится 39,67 % территории парка, доля неустойчивых и весьма неустойчивых ПТК составляет 27,84 %. На долю ПТК, весьма устойчивых и устойчивых к лесохозяйственному воздействию, приходится 75,54 % территории парка. К этому виду антропогенного воздействия неустойчивы лишь ПТК, занимающие 12,79 % исследованной территории.

**Эстетика ландшафтов.** Планирование и организация экологического туризма и зон отдыха в национальном парке предполагают оценку эстетических достоинств ландшафтов. Их красота является объективной реальностью, однако оценить ее можно только субъективно. М. Ю. Фролова [1994] справедливо отмечает, что эстетические свойства ландшафта обнаруживаются в том случае, когда он соответствует идеалу человека, социальной группы, нации. Эстетическое восприятие ландшафта зависит не только от характера перцепции географической реальности оценивающего ее индивидуума (его вкуса, образования, возраста, физиологических и психологических особенностей), но и от характера восприятия и оценки ландшафта в рамках той или иной культуры, которая определяется этнической и географической принадлежностью, исторической эпохой.

Объекты оценки могут быть как статичными – формы рельефа, характер растительности и др., так и динамичными – время года, атмосферные явления и пр. В то же время нельзя игнорировать и первоначальное, относящееся к XIX веку определение ландшафта как местности, охватываемой взглядом с некоторой обзорной точки. Таким образом, эстетическая оценка территории сопро-

вождается своего рода витком понятийной спирали, возвращающим нас на новом уровне к Гумбольдтовой трактовке ландшафта, к попытке взглянуть на географическую реальность одновременно глазами ученого и художника.

Эстетическая оценка территории может проводиться как преимущественно по отдельным ландшафтными компонентам, например по рельефу, растительности, гидрографической сети и т. д., так и по их сочетаниям в природном территориальном комплексе. За основные единицы территориальной эстетической оценки ландшафта нами приняты урочища и местности. Для них, как правило, характерно физиономическое единообразие по основным показателям эстетичности. При ее оценке учитывались такие факторы, как выразительность рельефа и водных объектов, пространственное разнообразие растительности и объектов хозяйственной деятельности. Выразительность рельефа оценивалась по общей эрозионной расчлененности, глубине вреза эрозионных форм, наличию долин малых рек, котловин и западин, бугристых поверхностей. При оценке выразительности водных объектов учитывалось наличие рек, ручьев, прудов, родников. Пространственное разнообразие древесной растительности оценивалось с использованием таких показателей, как лесистость, состав насаждений, декоративность древесных пород, обзорность и захламленность леса. При оценке пространственного разнообразия травянистой растительности учитывалось наличие лугов и болот. Антропогенная изменчивость оценивалась по разнообразию объектов хозяйственной деятельности – наличию населенного пункта, крупных карьеров, автодорог.

Каждому показателю эстетичности природных комплексов в зависимости от его значимости, которая определялась экспертным путем, было присвоено определенное количество баллов [Мордовский..., 2000].

Самую низкую эстетическую оценку (6 и менее баллов) получили местности смешанных лесов водно-ледниковых равнин. Они отличаются плоской и слабоволнистой поверхностью рельефа с пологими склонами, со слабой и средней горизонтальной расчлененностью, чаще с однородным составом древостоя, низкой декоративностью древесных пород 3 – 4-го бонитета с преобладанием березняков, осинников, реже дубово-липовых лесов. Геокомплексы характеризуются слабой проходимостью и незначительной обзорностью местности. Уникальные антропогенные и природные объекты отсутствуют.

Среднюю оценку (7 – 10 баллов) получили природные комплексы смешанных лесов аллювиально-водно-ледниковых и древнеаллювиальных равнин с более активным развитием склоновых процессов, значительной их выраженностью и сравнительно глубокой балочной сетью, с присутствием замкнутых и полузамкнутых западин и котловин. В растительности преобладают смешанные леса с фрагментами разнотравных лугов. Это сочетание подчеркивается хорошей обзорностью местности.

Максимальное число баллов эстетичности (более 10) получили геокомплексы водно-ледниковых и древнеаллювиальных равнин со склонами значительной крутизны, высокой горизонтальной расчлененностью рельефа, глубоким эрозионным врезом балок, с ярко выраженной грядово-бугристой поверхностью. В растительном покрове преобладают смешанные леса (дубняки, лип-

няки, сосново-еловые леса), обладающие высокой декоративностью. Для этих лесов характерны хорошая проходимость и обзорность местности. Эстетическую ценность ландшафтов увеличивают верховые и переходные болота в лесном пейзаже. Однако высокая захламленность, наличие усыхающих и мертвых деревьев, однородность состава древостоя, преобладание искусственных насаждений в сосновых борах понижают эстетичность некоторых природных комплексов, входящих в эту группу. Высокой эстетичностью обладают также пойменные природные комплексы, включающие в пейзаж реки, чередование лугов и болот.

### **3.6. Социально-экологическая оценка состояния природно-социально-производственных систем**

Сбор статистической информации для формирования базы данных «Здоровье» в ГИС «Мордовия» производился в Мордовском республиканском управлении статистики, Республиканском информационно-вычислительном центре Министерства здравоохранения Республики Мордовия. В разработку было включено 19 параметров здоровья населения, которые разделены на 4 однородные по своему назначению группы:

- общедемографические показатели: 1) рождаемость (на 1 000 населения); 2) общая смертность взрослого населения (на 1 000 человек); 3) детская смертность (на 1 000 родившихся живыми);
- обращаемость детского населения (на 1 000 человек) в лечебные учреждения республики в связи с заболеваниями: 1) системы кровообращения; 2) органов пищеварения; 3) органов дыхания; 4) нервной системы и органов чувств; 5) мочеполовой системы; 6) костно-мышечной системы и соединительной ткани;
- обращаемость в лечебные учреждения взрослого населения (на 1 000 человек) по поводу: 1) заболеваний системы кровообращения; 2) органов пищеварения; 3) органов дыхания; 4) нервной системы и органов чувств; 5) мочеполовой системы; 6) костно-мышечной системы и соединительной ткани;
- обращаемость взрослого населения в медицинские учреждения в связи со злокачественными опухолями и смертность данной социальной группы от злокачественных опухолей.

**Региональная социально-экологическая оценка качества жизни населения Республики Мордовия.** Оценка состояния природно-социально-производственных систем по степени социально-экологической напряженности проводилась на основе сравнительного анализа уровня и структуры демографического поведения по административным районам. Районы со сходными параметрами социально-экологической ситуации объединялись в группы. Более детальный анализ информации осуществлялся для районных центров, городов и рабочих поселков, где обычно концентрируется значительная часть населения региона. Такой подход в определенной степени оправдан, поскольку принятие решений по снятию проблем негативного взаимодействия геоэкологических и

социально-экономических процессов осуществляется на уровне административных единиц. Но ареалы распространения геоэкологических ситуаций не совпадают, как правило, с границами административных и муниципальных образований, что обуславливает дополнительные сложности при реализации эколого-социального подхода. Поэтому при оценке состояния природно-социально-производственных систем целесообразно выделять реальные ареалы загрязнения окружающей среды и использовать их для геоэкологического районирования.

При углубленном анализе геоэкологических ситуаций особое значение приобретает учет субъективных оценок, которые основываются на суждениях людей об обстоятельствах их жизни. Изучение субъективных оценок способствует выявлению факторов и условий, воспринимаемых как неблагоприятные, отклоняющиеся от нормы.

Общая схема социально-экологического анализа региональных природно-социально-производственных систем реализуется через следующие этапы:

- определение общих закономерностей дифференциации территории по индексу здоровья населения, который учитывает рождаемость, смертность, обращаемость жителей в лечебные учреждения в связи с различными заболеваниями;
- группировка районов в соответствии с полученными значениями «индекса здоровья»;
- оценка лимитирующих социально-экономических и экологических факторов для проживания человека (обеспеченность жильем, уровень дохода на душу населения, миграция, показатели уровня загрязнения атмосферы, почв, качество питьевой воды и др.);
- определение субъективного восприятия населением степени экологической напряженности;
- типология территорий по уровню здоровья населения, демографическому поведению и качеству среды проживания.

В результате проведенного исследования в Республике Мордовия было выделено три типа районов.

1. Районы с высокой насыщенностью территории индустриальными объектами, развитой социально-бытовой инфраструктурой, характеризующиеся наихудшим показателем индекса здоровья (35 %). В этот тип районов входит г. Саранск. Для столицы Мордовии характерны повышенные показатели обращаемости взрослого и детского населения в лечебные учреждения по поводу болезней мочеполовой и нервной системы, органов чувств, органов дыхания, онкологических заболеваний, патологии костно-мышечной системы и соединительной ткани. Лимитирующими факторами в формировании качества жизни населения являются: низкое качество питьевой воды; высокий уровень загрязнения атмосферы и почв свинцом, цинком, ванадием, молибденом, медью; на 20 % территории города и подчиненных ему населенных пунктов почвы загрязнены цезием-137. По данным анкетного опроса 58 % респондентов оценивают экологическую ситуацию как неблагоприятную, а 90 % опрошенных считают,

что экологические условия влияют на состояние их здоровья и здоровье их близких.

2. Районы аграрно-индустриальные, со сложной экологической обстановкой в зонах повышенной концентрации промышленных предприятий. В эту группу входят МО Рузаевка и Ковылкино, административные районы: Атюрьевский, Атяшевский, Большеберезниковский, Ельниковский, Инсарский, Ичалковский, Кадошкинский, Кочкуровский, Лямбирский и Чамзинский, в которых проживает 35 % населения республики. Индекс здоровья варьирует от 42 до 50 %. Эта группа районов характеризуется плохим качеством питьевой воды; в состав загрязнителей атмосферы и почв входят свинец, медь, молибден, цинк, никель, кобальт. Около 10 % населения отмечают повышенную опасность от ухудшения экологической обстановки. Социально-экономические параметры качества жизни характеризуются в основном средними статистическими значениями относительно среднереспубликанских. На снижение рангового показателя качества жизни в основном влияют следующие параметры: относительно высокий коэффициент младенческой смертности, низкие объемы товарооборота и расходы бюджета на 1 жителя.

3. Аграрные районы (10 административных районов). Они характеризуются удовлетворительным уровнем здоровья населения. Экологические ситуации отличаются сравнительно невысокой напряженностью. Более 60 % жителей удовлетворены местом своего проживания. Состояние социально-экономических параметров качества жизни в этой группе районов характеризуется в основном средними значениями. Коэффициент естественной убыли явился одним из основных параметров снижения рангового показателя качества жизни в данных районах. Отмечаются относительно низкий уровень среденемесячной заработной платы и покупательной способности населения.

**Медико-экологическая оценка состояния локальных природно-социально-производственных систем.** При проведении медико-экологического анализа Саранска привлекались показатели заболеваемости по 88 педиатрическим участкам. Для выявления влияния состояния среды обитания на здоровье наиболее достоверными являются экологически обусловленные поражения организма, включающие в себя аллергические болезни, такие как бронхиальная астма и дерматиты. В экологически неблагоприятных районах, как дети, так и взрослые в 1,5 – 3 раза чаще болеют острыми респираторными вирусными инфекциями, а вирусная антигенная стимуляция способствует формированию повышенной реактивности бронхов и развитию бронхиальной астмы.

В атмосферном воздухе населенных мест, особенно вблизи промышленных предприятий, обнаруживается широкий спектр различных загрязняющих веществ. Однако в настоящее время либо вообще отсутствуют данные эпидемиологических исследований относительно влияния этих загрязнителей на возникновение и рост числа аллергических заболеваний, либо эти данные недостаточны и касаются исключительно населения, проживающего в непосредственной близости от локальных источников загрязнения.

Для успешной борьбы с аллергическими заболеваниями, прежде всего, их профилактики, необходимо изучение взаимосвязи между распространенностью заболеваний и комплексом факторов среды обитания. Для этого в ГИС «Мордовия» построен проект, включающий следующие слои: стационарные источники выбросов в атмосферу (по данным 2ТП-воздух); границы педиатрических участков, обслуживаемых врачами детских городских поликлиник с атрибутивными данными по заболеваемости бронхиальной астмой, дерматитами и аллергическими заболеваниями в целом; сеть основных городских автомагистралей; карта пылевой нагрузки, составленная на основе данных о загрязнении снежного покрова; рассеивающая способность атмосферы с учетом рельефа местности, этажности застройки и др. Средствами ГИС были построены карты зон удаленности от автомагистралей, от источников выбросов загрязняющих веществ (диоксид серы, оксид углерода, оксид азота, свинец и др.). Далее методами пространственного статистического анализа оценивалось влияние различных факторов на аллергическую заболеваемость детей г. Саранска.

Проведенное исследование выявило повышенную распространенность аллергических заболеваний, в частности бронхиальной астмы и дерматита у детей на участках, расположенных близко к автомагистралям и промышленным источникам выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Увеличение заболеваемости бронхиальной астмой у детей, вероятно, связано с влиянием диоксида серы, оксида углерода и свинца, а заболеваемость дерматитом в определенной мере зависит от содержания в атмосферном воздухе повышенных концентраций бенз/а/пи-рена и от увеличения пылевой нагрузки.

### **3.7. Комплексные геоэкологические карты в региональной ГИС «Мордовия»**

Геоэкологический анализ ПСПС основывается на использовании весьма разнородной информации. Систематизация и синтез материалов о хозяйственном освоении ландшафтов производятся в процессе составления соответствующих комплексных карт. Их целевое назначение – определение длительности использования земель, выявление направленности развития геоэкологических процессов для оценки степени устойчивости геокомплексов к антропогенному воздействию и выработка мероприятий по оптимизации использования ландшафтов.

Трудоемкие процедуры составления комплексных карт на традиционных бумажных носителях при электронном картографировании в ГИС «Мордовия» выполняются путем комбинированного наложения слоев электронных карт или сквозного анализа тематических слоев электронного атласа и баз данных: природные условия и ресурсы, история освоения территории, современная освоенность ландшафтов и варианты оптимизации природопользования. Структура подключаемых к анализу баз данных и их содержание в значительной степени зависят от решаемых геоэкологических задач и степени изученности территории.

На базе общенаучной электронной ландшафтной карты в ГИС «Мордовия» разработаны модели следующих геоэкологических карт.

**1. Карты устойчивости природных комплексов**, отражающие информацию о способности ландшафтов или их компонентов сохранять структуру и режим функционирования в условиях техногенеза. Особую значимость при ландшафтном планировании имеет информация о подверженности литогенной основы ландшафтов к развитию геолого-геоморфологических процессов (оползневых, карстовых, суффозионных и др.); защищенности поверхностных, грунтовых и артезианских вод от загрязнения; эколого-геохимических свойствах почв, относительно к накоплению продуктов техногенеза; биологическом разнообразии.

**2. Общие ландшафтно-экологические (геоэкологические) карты**, раскрывающие геоэкологические взаимосвязи природных, социальных и производственных подсистем в процессе хозяйственного освоения ландшафтов. Для геоэкологического анализа в разных комбинациях, определяемых целью исследования, выносятся дополнительные тематические слои, характеризующие техногенную нагрузку на природные комплексы (забор подземных вод, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и т. д.). Сопоставительный анализ особенностей функционирования подсистем ведется с целью установления типов и остроты проявления геоэкологических проблем.

**3. Карты ландшафтно-экологического (геоэкологического) потенциала**, призванные раскрыть «степень возможного участия ландшафта в удовлетворении разнообразных потребностей общества» [Охрана ландшафтов, 1982. С.163]. В процессе картографо-геоэкологического анализа кроме информации о морфологии ландшафтов используются данные о природных ресурсах, устойчивости природных территориальных комплексов к техногенным нагрузкам (сельскохозяйственным, лесохозяйственным, селитебным и др.).

**4. Карты техногенных комплексов и объектов, оказывающих воздействие на природные территориальные комплексы.** При картографо-геоэкологическом синтезе информации используются данные отражающие: 1) морфологическую структуру ландшафтов; 2) техногенные комплексы и объекты, оказывающие воздействие на природные территориальные комплексы: населенные пункты, водозаборы, полигоны отходов, карьеры и т. п.; 3) суммарное техногенное воздействие на природные территориальные комплексы: забор воды из подземных и поверхностных источников; сброс воды в поверхностные водотоки; сброс воды в накопители; выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (отходящие и выбрасываемые); выбросы загрязняющих веществ по населенным пунктам; 4) проектная мощность очистных сооружений. Данные карты могут обогащаться вынесением следующих слоев информации: плотность населенных пунктов и населения; модули техногенной нагрузки на подземные воды; модули техногенной нагрузки на поверхностные воды; модули техногенной нагрузки на атмосферу; состояние сельскохозяйственных земель.

**5. Карты техногенного изменения ландшафтов**, отражающие «приобретение ландшафтом новых или утрату прежних свойств под влиянием внешних факторов или саморазвития» [Охрана ландшафтов, 1982. С. 77]. Важ-

ными аспектами являются картирование характера и интенсивности трансформации природных территориальных комплексов, ориентированности воздействия, глубины, обратимости, направленности изменения. В ГИС «Мордовия» тема раскрывается путем геоэкологического анализа тематических слоев о загрязнении ландшафтов тяжелыми металлами и радиоактивными изотопами, формировании депрессионных воронок в водоносных горизонтах, механическом нарушении литогенной основы ландшафтов в результате деятельности горно-промышленных предприятий; пораженности природных комплексов экзогенными геолого-геоморфологическими процессами.

**6. Ландшафтно-экологические (геоэкологические) карты регламентации хозяйственной деятельности**, отображающие существующие и предлагаемые ограничения с целью формирования культурных ландшафтов. Ландшафтно-экологическое зонирование территории основывается на анализе свойств природных комплексов, пространственной организации особо охраняемых природных территорий (заповедники, заказники, национальные парки, памятники природы) и другие объекты, где в разной степени ограничивается промышленная, сельскохозяйственная и иная деятельность.

**7. Карты прогнозирования аномальных (катастрофических) явлений в ландшафтах.** Под аномальными геоэкологическими явлениями подразумеваются такие, которые, не вписываясь в рамки обычного режима функционирования ландшафтов, сопровождаются коренной перестройкой их состояния, разрушением геотехногенных систем, ухудшением благосостояния, здоровья и условий жизни населения региона. Классификация аномальных (катастрофических) воздействий может основываться на источниках их происхождения: геологические – оползнеобразование, подтопление, карстообразование; просадка грунтов, эрозия почв и др.; погодно-климатические – смерчи, ураганы, бури, сильные ветры, ливни, переувлажнение, засухи, суховеи, град, гололед, заморозки, грозы, экстремальные температуры, снежные заносы и др.; гидрологические – затопление, паводки, разрушения водными потоками, заболачивание и др.; гидрогеохимические – изменение минерализации и химического состава питьевых вод; биохимические – очаговые заболевания, эпидемии, паразитарные заболевания и др.

Среди других карт, ориентированных на планирование культурных ландшафтов, целесообразно выделить историко-ландшафтные, отражающие формирование и современное состояние природного и исторического наследия; карты эстетических ресурсов природных и природно-антропогенных комплексов. Совокупность ландшафтно-экологических карт образует электронный атлас ПСПС региона.

## 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

---

Геоэкологический анализ и районирование экологического состояния ПСПС базируются на использовании тематических баз данных с применением геоинформационных технологий (ГИС «Мордовия»), математико-статистических и традиционных методов. Основополагающими являются системный, историческо-генетический, антропоцентрический принципы.

### 4.1. Факторная модель структуры ПТК

В настоящей работе под структурой в общем смысле понимается отношение порядка, определенное на том или ином множестве [Пузаченко, Скулкин, 1981; Пузаченко, 1995]. Наблюдаемая структура рассматривается как результат функциональных отношений, реализующихся на разных интервалах пространства-времени. Структура определяется через ее параметры, которые обуславливают ее форму в топографическом и многомерном пространстве. В качестве параметров структуры выделяются ее целочисленная и фрактальная размерность, число иерархических уровней, связь линейного размера и порядкового номера иерархического уровня, типы форм элементарных структур для каждого иерархического уровня, отношение изображения к базовым факторам [Пузаченко и др., 1997]. Варьирование параметров (число встречаемости типов форм для различных таксономических рангов и пространственных уровней иерархии) определяет разнообразие структуры [Пузаченко, 1997б].

Структура ландшафта формируется в результате взаимодействия компонентов в поле действия внешних факторов. Каждый компонент в свою очередь может рассматриваться как система, состоящая из переменных со сходной физической природой и сходными функциональными отношениями с другими компонентами (частями). Объединение компонентов в единую систему происходит в результате их взаимодействия, общего действия на компоненты внешних факторов и фактора, определяющего саморазвитие всей системы как единого целого (синергетический фактор) [Пузаченко, 1997б].

В нашем случае базовыми гипотезами, проверяемыми в исследовании, являются конкурирующие представления о непрерывности и дискретности пространственной структуры ландшафта и о зависимости (независимости) образующих его компонентов. В соответствии с этим состояние каждого компонента должно быть отображено через измеримые переменные, характеризующие его. Измерения по точности и качеству должны быть сопоставимы друг с другом. Если одна из переменных измерена с низкой точностью, то она в основном и будет определять, вне зависимости от точности измерения других переменных, возможности содержательной интерпретации изучаемых отношений.

Между всеми переменными априори предполагаются определенные отношения, однако величина и направление действия не задаются (нейтральная

система). Вместе с тем на основе априорных соображений допускается, что литогенетические переменные, отражая основные черты генезиса и литологии, также связаны с переменными, описывающими рельеф, и влияют на перераспределение и процессы миграции влаги (гидрологические переменные) и элементов минерального питания. Переменные, описывающие рельеф, также отражают перераспределение влаги и процессы миграции и вместе с тем, возможно, влияют на формирование поля температур и территориальное перераспределение атмосферных осадков. Климатические переменные определяют характер и интенсивность миграции вещества и условия формирования растительного и почвенного покровов. Почва и растительность отображают общий эффект действия всех ландшафтных переменных.

Априорные представления позволяют предположить наличие в системе по крайней мере двух крупных, существенно независимых друг от друга факторов формирования его структуры. Один из них определяется эндогенными переменными, другой – экзогенными. Вместе с тем существенная независимость температурных условий и количества осадков предполагает, возможно, наличие еще одного фактора. Вполне вероятно, что особый фактор определяет также формирование облика растительности как переменной, в существенной мере зависимой от всех других и в то же время являющейся важнейшим интегральным компонентом формирования структуры ПТК. Таким образом, целочисленная размерность структуры системы предположительно может быть равна трем или четырем.

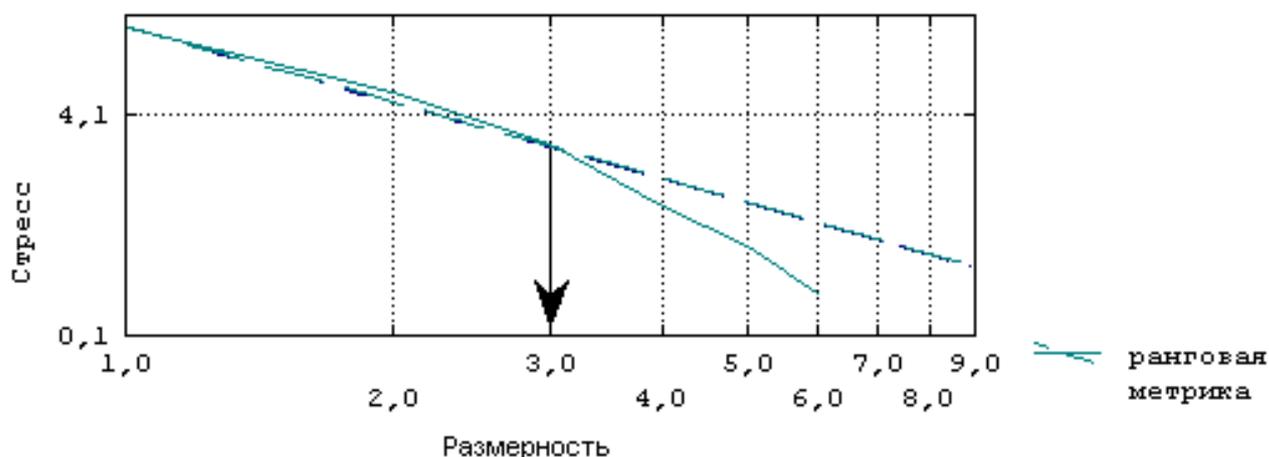
Исучаемый объект в соответствии с целями исследования и с учетом априорных представлений о характере и направлениях взаимодействия между частями ПТК на уровне исходной системы определяется через два параметрических множества: группу изучаемых точек анализа и само пространство. Время как параметрическая переменная не рассматривается.

Переменные характеризуются через множество состояний, определенных на едином параметрическом множестве. Необходимо, чтобы число выделяемых состояний (градаций) факторов не слишком отличалось для различных переменных (не более чем в 2 – 3 раза) [Арманд, 1975]. С другой стороны, некоторые переменные (рельеф, почвы, растительность и др.) могут рассматриваться на разных иерархических уровнях. Поэтому для ряда переменных вводятся данные, характеризующие их на различных типологических уровнях. Использование для анализа разнородных и разномасштабных данных требует их приведения к единому параметрическому множеству. В качестве такой базы использована топографическая карта масштаба 1 : 200 000. Условие единой привязки к топографической основе и соблюдение единого масштаба всей информации осуществлено в результате создания компьютерной растровой модели всех перечисленных характеристик.

Для выявления масштаба связей между переменными была дана оценка их сопряженности на основе расчета информационных мер связи (дискретный подход) и рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции (непрерывный подход) [Абишев, 1975; Кендэлл, Стьюарт, 1973]. Между многими переменными существует весьма тесная связь, причем в значительной мере между собой свя-

заны рельеф, почвы, растительность, генезис отложений. Между климатическими характеристиками также наблюдаются довольно устойчивые связи.

На основе рассчитанных мер связи была определена размерность пространства переменных. Она определялась с использованием как информационных, так и ранговых дистанций. На рис. 23 показано определение размерности системы по значению стресса при помощи многомерного шкалирования [Дэйвисон, 1988].



Р и с . 23 . Определение размерности пространства системы

Из рисунка видно, что размерность пространства при использовании ранговых дистанций равна 3,0 – 3,1 (место пересечения функции ранговых дистанций и аппроксимирующей функции). Таким образом, все множество рассматриваемых переменных может быть сведено к трем базовым факторам, т. е. для анализа структуры ПТК достаточно рассматривать организацию этих трех латентных факторов.

Выделяются два крупных блока переменных, существенно независимых друг от друга по первому базовому фактору, который определяет большинство переменных во всех рассмотренных вариантах. Первый блок включает переменные, отображающие генезис и литологию покровных отложений, почвы, растительность, абсолютную отметку высот, уровень грунтовых вод, тип мезорельефа, тип водной миграции в верхнем горизонте почв. Во второй блок входят все климатические переменные (осадки, температура, высота снежного покрова), а также сток и экспозиция склонов.

Интерпретация физического смысла факторов осуществляется с помощью регрессионного анализа [Пузаченко, 1995; Пузаченко, 1997]. В табл. 15 приведены коэффициенты детерминации переменных  $R^2$  от выделенных факторов. Чем он выше, тем лучше описывается переменная в рамках выбранного пространства. Коэффициенты чувствительности показывают, каким образом переменные отображаются в пространстве базовых факторов. Знак говорит о направлении, а абсолютное значение – о величине (нагрузке) фактора по каждой из переменных.

**Зависимость переменных от факторов, рассчитанных на основе ранговых и информационных дистанций ( $R^2$ -коэффициент детерминации)**

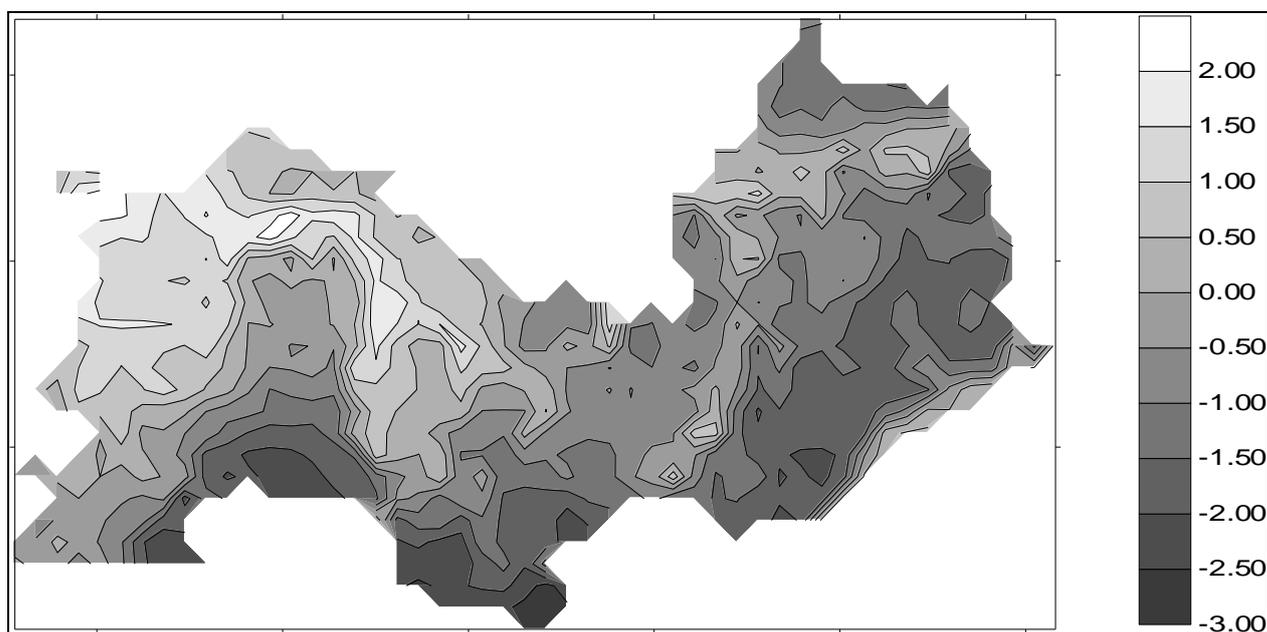
Переменная	Информационная метрика			$R^2$	Ранговая метрика			$R^2$
	Коэффициенты чувствительности к факторам				Коэффициенты чувствительности к факторам			
	1	2	3		1	2	3	
Генезис отложений	– <b>0,72</b>	0,00	0,09	0,56	– <b>0,81</b>	0,07	– 0,05	0,68
Механический состав	– <b>0,46</b>	– <b>0,31</b>	0,00	0,41	– <b>0,67</b>	0,30	0,14	0,53
Подтип почв	– <b>0,68</b>	0,00	0,00	0,47	– <b>0,74</b>	0,21	0,00	0,59
Тип водной миграции	– <b>0,75</b>	0,00	0,00	0,57	– <b>0,80</b>	0,09	0,00	0,64
Растительные формации	– <b>0,44</b>	– 0,28	<b>0,52</b>	0,74	– <b>0,70</b>	0,27	<b>0,43</b>	0,67
Уровень грунтовых вод	– <b>0,79</b>	<b>0,60</b>	0,00	0,64	– <b>0,42</b>	– 0,32	0,00	0,34
Абсолютная высота	– 0,80	0,32	0,20	0,65	– <b>0,74</b>	– 0,15	0,25	0,61
Положение в мезорельефе	– <b>0,77</b>	<b>0,62</b>	0,00	0,63	– <b>0,46</b>	– 0,32	0,08	0,32
Экспозиция склонов	<b>0,49</b>	0,18	<b>0,56</b>	0,54	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>	0,25	0,41
Годовая температура	0,33	0,28	0,13	0,25	<b>0,42</b>	– 0,27	0,15	0,28
Летняя температура	<b>0,41</b>	0,21	0,00	0,29	<b>0,43</b>	0,12	<b>0,42</b>	0,40
Зимняя температура	0,23	<b>0,41</b>	0,00	0,30	<b>0,45</b>	– 0,40	<b>0,51</b>	0,70
Годовые осадки	<b>0,50</b>	0,00	<b>0,31</b>	0,29	<b>0,36</b>	<b>0,56</b>	– 0,27	0,52
Летние осадки	<b>0,49</b>	0,16	<b>0,45</b>	0,44	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	– 0,19	0,35
Зимние осадки	0,17	0,10	0,08	0,06	0,12	<b>0,48</b>	– 0,21	0,31
Годовой сток	0,30	– <b>0,41</b>	– 0,17	0,21	0,00	<b>0,59</b>	<b>0,45</b>	0,52

Примечание. Жирным цветом показаны нагрузки, существенным образом определяемые тем или иным фактором.

Так как регрессионный анализ является линейным методом, то наиболее правомочно использовать его результаты, полученные по ранговым дистанциям. Из таблицы видно, что большинство переменных хорошо описываются полученными факторами (коэффициент детерминации 0,4 – 0,7, что соответствует коэффициенту корреляции 0,6 – 0,9). Несколько слабее отображаются данными факторами годовая температура, осадки, а также положение в мезорельефе и уровень грунтовых вод. Так как коэффициенты чувствительности по первому фактору наиболее высокие для большинства элементов (особенно для рельефа и литогенной основы), то он в целом может быть охарактеризован как интегральная характеристика, отображающая основные пространственные закономерности изменения литогенной основы ПТК и рельефа. В первую очередь он отражает пространственное варьирование первого блока переменных. Второй фактор в ранговой метрике в основном характеризует осадки и экспозицию склонов, а третий – растительность и температурные условия.

С использованием коэффициентов чувствительности переменных к базовым факторам на основе метода наименьших квадратов приведения уравнений к нормальному виду [Кендэлл, Стюарт, 1973; Пузаченко, 1995] рассчитываются значения трех факторов для каждой точки на местности (карте). В

результате получаем непрерывные факторные отображения ПТК, интегрирующие в себе межкомпонентные отношения. Их физический смысл соответствует интерпретации полученных базовых факторов. На рис. 24 приведена мезомасштабная модель изменчивости первого базового фактора, которая раскрывает макрорегиональные особенности пространственной структуры ПТК, связанные во многом с геолого-геоморфологической структурой территории. Максимальным значениям фактора соответствуют низменности с флювиогляциальными отложениями и хвойными лесами на северо-западе, минимальным – возвышенности с элювиально-делювиальными отложениями и широколиственными лесами и лугами на юге и юго-востоке. Очень четко прорисовываются речные долины, что свидетельствует об их существенной роли в организации территории.



Р и с. 24. Непрерывное отображение межкомпонентных отношений по первому базовому фактору (мезомасштабная модель)

Удовлетворительное отображение регрессионной моделью большинства переменных позволяет также получить непрерывные модели для любой из переменных, включенных в общую факторную модель ПТК, и выявить пространственные закономерности их организации.

Распределение значений всех факторов, особенно первого, бимодально. Выделяются по крайней мере две локальные области с большей встречаемостью значений факторов. Это позволило провести дискретную классификацию ПТК. Она выполнена с помощью кластер-анализа (метод K-means) путем последовательных дихотомий для пяти иерархических уровней по исходным и стандартизованным значениям базовых факторов. Формально каждый из выделенных классов на любом уровне может быть ассоциируем с конкретным типом ПТК.

Через отображение классов ПТК в дискриминантных осях трех непрерывных факторов определяется их факторная идентификация и выявляется

вклад дискретности и непрерывности (при гипотезе нормальности распределений значений факторов в одной генеральной совокупности). Чем выше качество отображения дискретных классов через непрерывные значения факторов, тем они более дискретны, и наоборот.

На всех уровнях классификации ведущее значение в обособлении таксонов принадлежит переменным, определяемым первым фактором. На нижних уровнях повышается роль второго и третьего факторов (табл. 18). Высокое качество классификации на всех уровнях свидетельствует о существенной дискретности классов и хорошей их связи с независимо полученным непрерывным отображением.

Т а б л и ц а 18

**Базовые ландшафтные факторы, определяющие отображение классов ПТК различных иерархических уровней (дискриминантный анализ)**

Переменные, участвующие в модели	F-критерий	Качество классификации, %
1-й уровень (2 класса)	2 303	96,5
Фактор 1	4 422	
Фактор 2	229	
2-й уровень (4 класса)	826	91,8
Фактор 1	1 700	
Фактор 2	522	
Фактор 3	409	
3-й уровень (8 классов)	653	89,7
Фактор 1	973	
Фактор 2	548	
Фактор 3	449	
4-й уровень (16 классов)	519	87,5
Фактор 1	572	
Фактор 2	489	
Фактор 3	483	

Идентификация классов по переменным осуществляется на основе дискриминантного и дисперсионного анализа. В первом случае рассматривается отображение классов ПТК через независимые значения всех переменных, во втором – вклад классов ПТК в вариабельность ландшафтных переменных. При выделении классов на первом иерархическом уровне наибольшее индицирующее значение имеют подтипы почв (в дискриминантном анализе наивысшее значение F-критерия), литогенетические типы отложений (максимальное значение в дисперсионном анализе), гранулометрический состав почвообразующих пород, абсолютная высота, растительность, несколько ниже – зимние температуры.

Переменные, наилучшим образом описывающие дискретные классы, берутся в качестве основных при их идентификации, остальные – в качестве дополнительных. Учитываются также представления о влиянии переменных друг на друга, уточненные на основе факторной модели. Аналогичным образом были определены основные переменные для всех дихотомически полученных иерархических уровней. На основе таблиц кросс-табуляции были вы-

явлены их характерные состояния. Как правило, по ведущей переменной они однозначно разделяются по классам. Упрощенно (без введения в название дополнительных переменных) принципиальная схема организации иерархии представлена на рис. 25.

- |  |
|--|
| <p>1. ПТК возвышенностей, сложенные элювиально-делювиальными и моренными отложениями с преобладанием широколиственных лесов и луговых степей на серых лесных и черноземных почвах</p> <p>1.1. ПТК с поверхностным стоком более 4 л/с на 1 км<sup>2</sup></p> <p>1.1.1. ПТК со среднегодовым количеством осадков менее 490 мм</p> <p>1.1.1.1. ПТК с зимней температурой –12,2... – 11,8 °С</p> <p>1.1.1.2. ПТК с зимней температурой выше –11,8 °С</p> <p>1.1.2. ПТК со среднегодовым количеством осадков более 490 мм</p> <p>1.1.2.1. ПТК с зимней температурой ниже –12,2 °С</p> <p>1.1.2.2. ПТК с зимней температурой –12,2... –11,8 °С</p> <p>1.2. ПТК с поверхностным стоком менее 4 л/с на 1 км<sup>2</sup></p> <p>1.2.1. ПТК со среднегодовым количеством осадков менее 490 мм</p> <p>1.2.1.1. Автономные ПТК глубоким залеганием грунтовых вод</p> <p>1.2.1.2. Подчиненные ПТК с близким залеганием грунтовых вод</p> <p>1.2.2. ПТК со среднегодовым количеством осадков более 490 мм</p> <p>1.2.2.1. ПТК с зимней температурой –12,2... –11,8 °С</p> <p>1.2.2.2. ПТК с зимней температурой ниже –12,2 °С</p> <p>2. ПТК низменностей, сложенные флювиогляциальными отложениями, и долинны ПТК с преобладанием хвойно-широколиственных и мелколиственных лесов и пойменной растительностью на светло-серых, дерново-подзолистых и пойменных почвах</p> <p>2.1. ПТК с зимней температурой –12,2... –11,8 °С</p> <p>2.1.1. Подчиненные ПТК</p> <p>2.1.1.1. ПТК пойменных ольховых лесов</p> <p>2.1.1.2. ПТК пойменных и болотных лугов</p> <p>2.1.2. Автономные ПТК</p> <p>2.1.2.1. ПТК с хвойно-мелколиственными лесами с доминированием березы</p> <p>2.1.2.2. ПТК с хвойно-мелколиственными лесами с доминированием сосны</p> <p>2.2. ПТК с зимней температурой выше –11,8 °С</p> <p>2.2.1. ПТК с хвойно-широколиственными лесами и пойменными дубовыми лесами</p> <p>2.2.1.1. Подчиненные ПТК с близким залеганием грунтовых вод</p> <p>2.2.1.2. Автономные ПТК с глубоким залеганием грунтовых вод</p> <p>2.2.2. ПТК с хвойными и мелколиственными лесами</p> <p>2.2.2.1. Автономные ПТК с глубоким залеганием грунтовых вод</p> <p>2.2.2.2. Подчиненные ПТК с близким залеганием грунтовых вод</p> |
|--|

Рис. 25. Принципиальная схема иерархической классификации ПТК по межкомпонентным отношениям

Любой уровень иерархии может быть представлен в виде картографической модели. На рис. 26 приведена картосхема для классов ПТК третьего уровня. Выделенные классы на этом уровне соответствуют видам ландшафтов, а территориальные обособленные группы внутри них – непосредственно ПТК этого ранга. Следует обратить внимание на тот факт, что точки, принадлежащие к одному типу, образуют естественные территориальные един-

ства, демонстрируя тем самым соотношение между типологическим и индивидуальным (геомерами и геохорами – в терминологии В. Б. Сочавы).

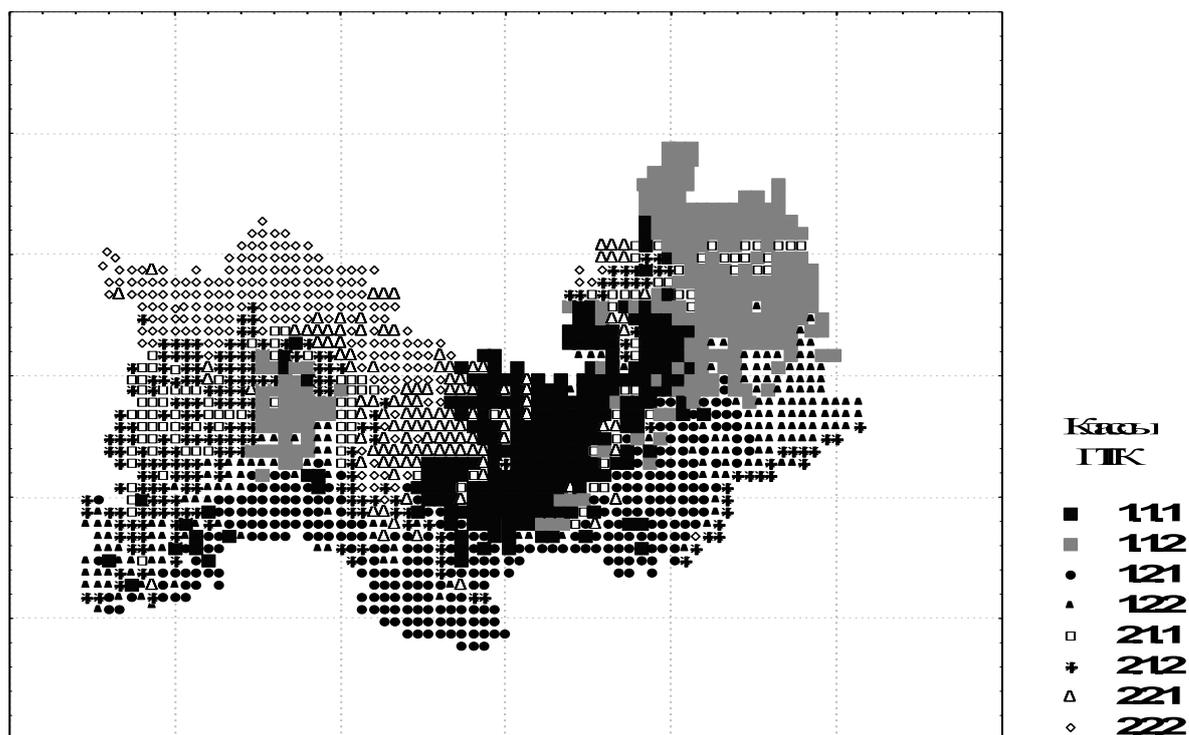


Рис. 26. Картограмма ПТК третьего иерархического уровня

Расчет постериорных вероятности (дискриминантный анализ) отнесения каждой точки пространства к классам ПТК и определив их среднее геометрическое, получаем меру равновесности, позволяющую выделить на местности норму состояния каждого ПТК для разных уровней иерархии. Очень низкое значение меры равновесности (при полном равновесии межкомпонентных отношений значение меры равно нулю) соответствует ядрам типичности ПТК (равновесным областям), высокое – пограничным зонам, в которых происходит постепенный (при широких зонах) или более резкий (при узких) переход от одного типа комплексов к другому. Чем уже такие граничные зоны, тем резче переходы между разными типичными ПТК и дискретнее пространство. Переходные зоны могут быть охарактеризованы как наиболее далекие от нормального или типичного состояния. В целом площадь «нормальных» (дискретных) ПТК больше на всех иерархических уровнях.

Таким образом, последовательный системный анализ сложных географических систем позволяет не только решить в рамках большого набора статистических методов на количественной основе традиционные задачи построения ландшафтных карт и классификации ландшафта, но и определить размерность географического пространства, физический смысл базовых факторов, построить статистические модели, описывающие поведение в пространстве каждого компонента, выявить их равновесные и неравновесные

отношения и описать их размещение по территории. Получаемая общая факторная модель ландшафта с высокой надежностью определяет по крайней мере важнейшие особенности пространственной структуры компонентов и свойств, непосредственно не включенных в анализ, и может рассматриваться как основа при их независимом исследовании.

#### **4.2. Моделирование нормы концентраций микроэлементов в почвах**

Термин «норма» происходит от латинского слова *norma* и означает образец, эталон, правило. Соответственно существует понятие аномальности как отклонения от нормы. Сформулировано множество определений понятия нормы в зависимости от области его применения, целей исследования. Н. С. Строганов следующим образом объединяет различные аспекты рассмотрения понятия нормы [Строганов, 1983. С. 7 – 11].

1. К первой группе относятся определения нормы как типичного, среднего, нормы реакций, гомеостаза. Все приведенные характеристики нормы отражают устойчивость какого-либо качества, которое определяется как наиболее часто встречающееся. Гомеостаз является характеристикой, отражающей пределы устойчивости системы.

2. Вторая группа характеристик нормы может быть обозначена как соразмерность внутреннего и внешнего, сбалансированность процесса обмена веществом и т. д. Нормальной в таком понимании будет система, которая характеризуется определенным соотношением между ее частями.

3. В третью группу характеристик нормы входят оптимальность, максимальная продукция, минимум энтропии, самый низкий коэффициент вариации, зона оптимального функционирования и пр. Оптимум представляет собой некоторую равнодействующую величину в системе различных противоречивых сил.

В наиболее общем виде под нормой понимается такое состояние системы, которое в наибольшей степени соответствует внешним условиям ее существования, так как любая природная система является незамкнутой. С другой стороны, так как в природе преобладают стохастические связи, то любое состояние системы возникает в ней с определенной степенью вероятности. Исходя из этого под нормой понимается «наиболее вероятное состояние системы или ее компонентов, или, что то же самое, соответствие системы области равновесия при максимально достижимых уровнях сложности и интенсивности обменов в рассматриваемом регионе» [Пузаченко, 1998. С. 191].

Общая методологическая база процесса нормирования подробно рассмотрена во многих работах, в частности О. Ф. Садыковым, Ю. Г. Пузаченко и др. [Воробейчик и др., 1994; Пузаченко, 1998]. Отметим некоторые наиболее важные ее положения [Пузаченко, 1998. С. 104 – 105].

1. Если рассматриваемая система равновесна или неравновесна, но стационарна, то распределение значений состояний ее свойств или переменных под-

чиняется одной из моделей случайного процесса (биномиальному, нормальному, логнормальному и др.).

2. Если система равновесна, то всегда можно найти функцию, которая будет описывать состояния ее переменных через внешние переменные.

3. Если система равновесна, то соизмеримые в пространстве и во времени ее части будут взаимно отображаться в системах уравнений, которые могут быть найдены с использованием статистических методов.

4. Если система равновесна, то распределение ее элементов по классам на любом уровне классификации и при любом методе классификации будет одним из типов ранговых распределений.

5. Если система устойчива, то это может быть установлено по критериям на основе анализа адекватной ей математической модели или на основе анализа соответствующих матриц коэффициентов или мер отношений между переменными.

В реальном мире встречаются как равновесные, так и неравновесные процессы. Положение в неравновесном нестационарном состоянии нетипично лишь по определению, а не по существу. Вместе с тем именно неравновесное нестационарное состояние может быть источником возможных и реализуемых быстрых преобразований в системе. Другими словами, изменения в системе при изменении условий ее существования будут происходить прежде всего в ее неравновесных частях, что имеет очень важное значение для прогнозных исследований.

Выделение типичных и нетипичных состояний ПСПС, ПТК или других систем всегда связано с оцениванием какой-либо переменной (частной или обобщенной), характеризующей объект «с тем значением, которое рассматривается как отвечающее норме его состояния. Из теории и практики следует, что большинство переменных имеют логнормальное распределение, а наиболее типичным и вероятным состоянием является среднее геометрическое значение по множеству реализаций» [Пузаченко, 1998. С. 197 – 198]. Эти закономерности достаточно общие и, в частности, были подтверждены для концентраций микроэлементов в почвах и снеговой пыли для территории Мордовии [Кирюшин и др., 1996, 1998]. Тогда любые сравнения реальной величины с нормой оправданы в логарифмической шкале. С другой стороны, балльные оценки большинства качественных ландшафтных переменных тоже есть нечто иное, как прямое отображение свойств ландшафта или ПСПС в логарифмической шкале.

Оценка равновесности (типичности) может быть осуществлена с помощью регрессионного или дискриминантного анализа. Оценка типичности (нормальности) выделенных в кластерном анализе групп осуществляется на основе расчета меры равновесности, представляющий собой среднее геометрическое от вероятности отнесения той или иной точки пространства к каждому из выделенных в кластерном анализе классов. Она рассчитывается по формуле [Пузаченко, 1990].

$$P = (p_1 \cdot p_2 \dots p_i)^{(1/i)},$$

где  $p_i$  – вероятность отнесения объекта (точки наблюдения) к  $i$ -му классу.

Малая оценка меры равновесности (в идеале равная нулю) соответствует так называемым ядрам типичности объекта, например ПТК (т. е. точка наблюдений статистически значимо в результате дискриминантного анализа отнесена к тому же классу, что и в кластерном). Если она достаточно высока, то это свидетельствует о неравновесности отношений, т. е. точки наблюдения могут быть отнесены с определенной степенью вероятности и к другим классам. Это территории, которые являются пограничными между наиболее типичными комплексами. Именно в них осуществляется переход от одного типа природного комплекса к другому. Чем более дискретны такие граничные зоны, тем более резкие переходы между разными типичными ПТК, тем пространство является более мозаичным, и наоборот. Переходные зоны могут быть охарактеризованы как области, наиболее далекие от нормального типичного состояния. Чем выше общее качество классификации (процент распознанных точек в дискриминантных осях), тем лучше идентифицируются те или иные классы, и это может также свидетельствовать о нормальности того или иного ПТК. Аналогично определяются ПТК, наиболее удаленные от нормы.

При непрерывном подходе эта задача решается на основе анализа модели линейной или нелинейной регрессии [Пузаченко, 1998]. На основе построенной регрессионной модели проводится анализ поведения в пространстве остатков (разницы между расчетными и реальными значениями). Равновесным областям соответствуют точки, для которых остатки не превышают принятых доверительных интервалов. Территории, для которых реальные значения максимально отклоняются от модели (более 3 – 4 доверительных интервалов), относятся к неравновесным. Далее исследуется положение этих точек в пространстве и устанавливаются причины неравновесности.

Используя предложенные подходы, можно определить ландшафтно обусловленную норму состояния для многих классов как природных, так и антропогенных явлений и процессов. Нами они были опробованы на системе, описывающей концентрацию микроэлементов в почвах Мордовии.

В качестве нормирующего показателя, используемого для проведения эколого-геохимической оценки отдельных территорий, может служить местное или региональное фоновое содержание химических элементов в почвах. При выборе фоновых участков необходимо учитывать радиальную и латеральную структуру ландшафтов, а также зоны влияния промышленных и сельскохозяйственных источников загрязнения. Для установления местных фоновых значений концентрации микроэлементов рекомендуется проводить исследования на достаточно больших территориях, чтобы уменьшить влияние на них результатов анализов проб, отобранных из неучтенных положительных или отрицательных аномалий как природного, так и техногенного генезиса [Алексеенко, 2000].

Естественный ландшафт можно рассматривать как нормальное состояние окружающей среды, поэтому следует считать, что параметры его структуры должны описывать изменчивость значений независимо построенных систем (например, концентрации микроэлементов в почвах) с достаточной степенью полноты. Все то, что слабо отображается через эти параметры, можно рассматривать как отклонение от ландшафтно обусловленной нормы состояния незави-

симо построенной системы. Такие состояния отображают внутренние свойства системы, которые не рассматривались непосредственно при оценке параметров ландшафтной структуры территории, либо есть результат внешнего (в том числе и антропогенного) воздействия. Ландшафтно обусловленные нормы концентрации элементов отражают, таким образом, фоновые, наиболее типичные значения и могут использоваться при геоэкологическом мониторинге.

Были выявлены территории, где поведение геохимической системы может рассматриваться как типичное (с ландшафтной точки зрения), а также установлены зоны с существенным влиянием антропогенного фактора.

Малая оценка меры равновесности (в идеале равная нулю) соответствует ядрам типичности системы (поведение рассматриваемого явления или процесса ландшафтно обусловлено, т. е. нормально). Если она достаточно высока, то это свидетельствует о неравновесности отношений, т. е. точки наблюдения могут быть отнесены с определенной степенью вероятности и к другим классам. Переходные зоны могут быть охарактеризованы как области, наиболее далекие от нормального типичного состояния.

Оценка качества отображения ландшафтных классов через геохимические параметры на втором иерархическом уровне приведена в табл. 19. Чем больше объектов в классе ПТК отнесено в результате их отображения в рамках геохимических факторов к «чужим» классам, тем в меньшей степени для данного класса вариабельность концентрации микроэлементов имеет ландшафтную обусловленность.

Таблица 19

**Дискриминантная матрица для ПТК второго иерархического уровня**

Класс ПТК	Процент распознавания точек	Количество точек, отнесенных к тому или иному классу ПТК			
		1.1	1.2	2.1	2.2
1.1	50,1	221	117	60	43
1.2	50,7	80	140	32	24
2.1	53,6	29	36	132	49
2.2	71,4	16	21	30	168
Всего		346	314	254	284

Из таблицы следует, что в целом все классы ПТК второго иерархического уровня достаточно хорошо обособляются в геохимическом отношении. Наилучшим образом через геохимические факторы описывается класс 2.2 (флювио-гляциальные низменности с высокой зимней температурой и преобладанием хвойных лесов), класс 2.1 (долинные комплексы) наиболее размыт между всеми классами; классы 1.1 (возвышенности с высоким стоком и преобладанием элювиально-делювиальных отложений, подстилаемых мореной и терригенными породами) и 1.2 (возвышенности с низким стоком с преобладанием элювиально-делювиальных карбонатных отложений) имеют много точек, которые по геохимическим свойствам близки.

Для геохимических ядер типичности рассчитываются равновесные нормативные значения факторов почвенной подсистемы. С их помощью по регрессионной модели определяется нормативная ландшафтно обусловленная концентрация микроэлементов в верхнем горизонте почв. Эти значения можно рассматривать как фоновые (табл. 20).

Таблица 20

**Нормальные (фоновые) значения концентрации микроэлементов, мг/кг**

Элемент	Кларк	Среднее геометрическое по родам ландшафтов			Равновесные концентрации микро-элементов по родам ландшафтов		
		Водно-ледниковые	Вторичные моренные	Эрозионно-денудационные	Водно-ледниковые	Вторичные моренные	Эрозионно-денудационные
Марганец	1 000	407	540	630	351±49	621±75	545±68
Никель	58	19	46	51	21,8±4,3	46±7	39,4±6,3
Кобальт	18	11	16	17	8,6±1,3	14,3±1,8	15,3±2
Титан	4 500	4 480	5 173	6 054	4 417±350	4 843±313	6 008±438
Ванадий	90	62	109	109	58±7,3	84±9	105±10
Хром	83	44	91	115	51,7±11,9	129±20	90,4±16,5
Цирконий	170	275	225	494	265±27,2	216±22	410±32
Медь	47	8,9	18	18	18,4±4,7	46±8	23,1±5,4
Свинец	16	16	24	32	13,9±6	33,5±10	21,1±7,6
Галлий	19	8,5	14	13	6,7±3	11,8±4	12,1±3,9
Иттрий	20	9,6	14	18	9,4±1,9	11,9±2,2	16,1±2,5
Стронций	340	116	154	187	82±38	162±48	164±48
Барий	650	248	383	421	129±90	281±121	263±118

Анализ фоновых значений показал, что по сравнению с кларком литосферы ландшафты Мордовии мало содержат меди, стронция, бария, марганца, галлия, никеля, кобальта и иттрия. Цирконий и свинец накапливаются в данных ландшафтах. Наименьшая концентрация химических элементов наблюдается в ландшафтах водно-ледниковых равнин, характеризующихся широким распространением песчаных отложений.

Сравнительный анализ «модельных» и среднегеометрических значений (которые также могут рассматриваться в качестве нормы при логнормальном распределении значений микроэлементов) показывает их достаточно хорошее совпадение. Предложенный подход дает возможность выявить и ландшафтно обусловленные ядра типичности для любых систем, построенных для данной территории. Это позволяет решать задачи нормирования антропогенных воздействий на региональном уровне, используя фоновые значения для расчета различных геохимических показателей (коэффициента концентрации, суммарного показателя загрязнения почв и др.).

Зоны неравновесных, с ландшафтной точки зрения, геохимических отношений можно определить и на основе непрерывного подхода. Для этого проводится анализ остатков регрессионной модели. Равновесным областям

соответствуют ошибки менее двух доверительных интервалов, сильно неравновесным – трех и более. Для оценки степени антропогенного влияния такие модели можно рассматривать для элементов, в определении которых существенное значение имеет антропогенный фактор, например для свинца, вариабельность которого существенно зависит от влияния техногенных переменных [см., напр., Кирюшин и др, 1996]. Установлено, что большая часть территории находится в области равновесных отношений, близких к нормальным (рис. 27). Только для незначительной части (0,1 % точек) ошибка превышает три доверительных интервала. Очевидно, что практически все эти точки находятся на территории крупных населенных пунктов, причем подавляющее большинство – в Саранске (скопление точек в центральной части рисунка).

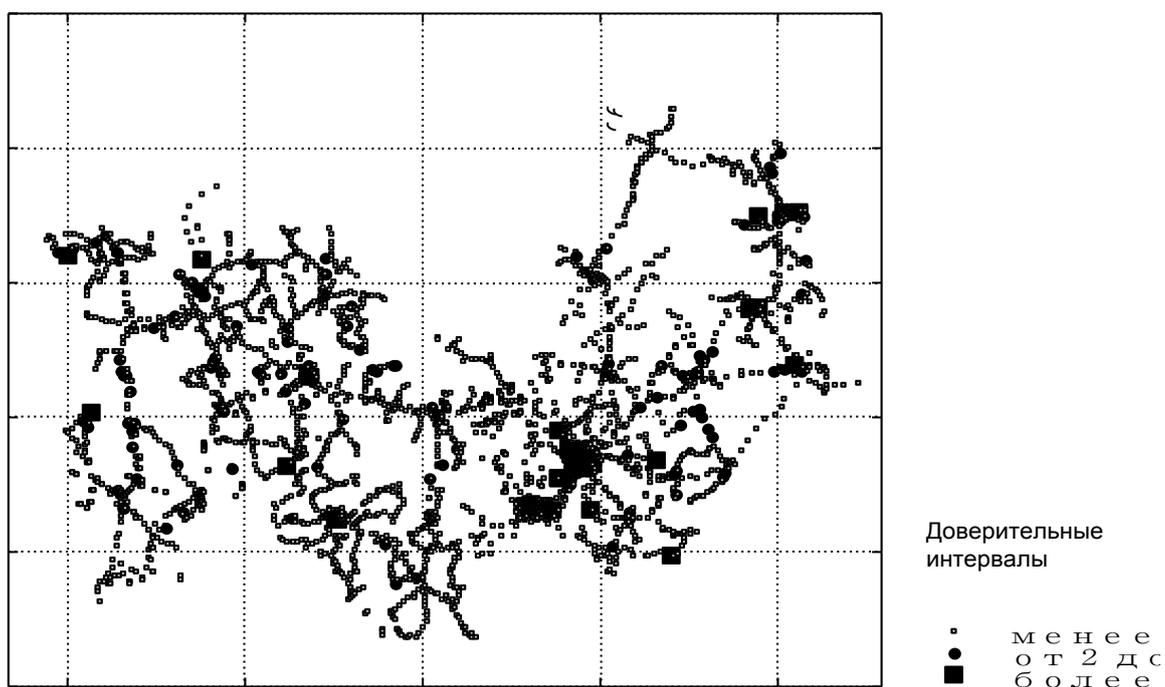


Рис. 27. Ошибки отображения регрессионной моделью концентрации свинца в верхнем горизонте почв

Предложенный подход дает возможность выявить и ландшафтно обусловленные ядра типичности для любых систем, построенных для данной территории. Это позволяет решать задачи нормирования для многих свойств ландшафтов, в том числе не включенных в настоящий анализ.

### 4.3. Экологическая техноемкость территории

Оценка экологической техноемкости территории (ЭТТ) является одной из актуальных задач эколого-экономических исследований, без решения которой трудно составить научно обоснованную систему регламентации хозяйственной деятельности в регионе. Под ЭТТ понимается обобщенная характеристика тер-

ритории, количественно соответствующая максимальной техногенной нагрузке, которую ее экосистемы могут выдержать и переносить в течение длительного времени без нарушения структурных и функциональных свойств [Методика расчета..., 1993]. С одной стороны, экологическая техноёмкость территории является показателем способности природной системы региона к регенерации изъятых из нее ресурсов и к нейтрализации вредных антропогенных воздействий, с другой – это мера максимально допустимого вмешательства человека в природные циклы. Это один из наиболее важных экологических критериев территории, и без его использования невозможно создать эффективную систему экологического нормирования [Садыков, 1989].

В качестве объекта исследования рассматриваются экосистемы Мордовии. Были решены три взаимосвязанные задачи: дана оценка экологической техноёмкости современных ландшафтов Мордовии; проведен анализ изменения ЭТТ республики в процессе хозяйственного освоения за несколько последних столетий; составлен эколого-экономический баланс в разрезе административных районов.

Существуют два основных подхода к оценке ЭТТ. Первый основан на экологической характеристике совокупности природных условий и реципиентов территории, их чувствительности и выносливости по отношению к техногенным воздействиям, второй – на эмпирически выбранных и заданных ограничениях техногенных потоков и уровней вредных воздействий. В настоящей работе использовалась методика, совмещающая в себе оба подхода, основанная на расчете способности природных комплексов Мордовии к самоочищению от  $\text{CO}_2$  и на рекомендуемых международными организациями квотах допустимого загрязнения углекислым газом (не более 6 – 7 % от естественных возможностей экосистем к его переработке) [Методика расчета..., 1993].

Нормирование эмиссии углекислого газа имеет большое значение для интегральной оценки предельно допустимой техногенной нагрузки, так как означает, по существу, нормирование топливной и транспортной энергетики, а через них – общих масштабов хозяйственной деятельности. Данный показатель вычисляется по формуле

$$Q = q \sum G_k \cdot S_k,$$

где  $q$  – нормативная доля техногенной эмиссии;

$G_k$  – ассимиляция углекислого газа  $i$ -м типом растительности, т/км<sup>2</sup> в год;

$S_k$  – площадь данного типа растительности, км<sup>2</sup>.

Таким образом, решение первой и второй задачи сводится к расчету нормативной эмиссии углекислого газа в различные временные интервалы. Для решения третьей задачи необходимо также рассчитать фактическую эмиссию  $\text{CO}_2$ :

$$\Phi = 3,3(U+Ж) + 2Г + Д,$$

где  $U$ ,  $Ж$ ,  $Г$  и  $Д$  – количество сжигаемых угля, жидкого топлива, газа и дров соответственно. Все эти данные охватывают более чем 2 000 природопользователей республики.

Выделяются три группы районов по величине экологической техноёмкости:

- 1) районы с низкой техноемкостью: Большеигнатовский, Ромадановский, Атюрьевский и территория, подчиненная Саранскому горсовету;
- 2) районы с высокой техноемкостью: Zubovo-Полянский, Темниковский;
- 3) районы со средней ЭТТ – все остальные.

На основе соотношения показателей нормативной и фактической эмиссии углекислого газа была проведена классификация районов республики по степени антропогенного давления на экосистемы. Выделено пять групп.

1. К первой группе относятся районы, где фактическая эмиссия составляет не более 50 % от нормативной, то есть в целом антропогенная нагрузка незначительна (Темниковский, Теньгушевский, Атюрьевский, Ельниковский, Инсарский, Дубенский и Большеигнатовский).

2. Группа районов с нагрузкой, близкой к нормативной, где доля фактической эмиссии составляет 50 – 100 % процентов от нормативной (Ковылкинский, Краснослободский, Лямбирский, Кочкуровский, Ичалковский).

3. Районы, экосистемы которых находятся в предельной зоне устойчивости и фактическая нагрузка превышает допустимую не более чем в два раза (Большеберезниковский, Чамзинский, Ардатовский).

4. Территория сильного антропогенного давления, где фактическая нагрузка выше допустимой в 2 – 10 раз. (Ромадановский, Атяшевский, Торбеевский, Рузаевский).

5. К особой группе относится территория Саранского горсовета, где антропогенная нагрузка превышает допустимую в 150 раз. Это зона катастрофического состояния экосистем.

Проведенная оценка может служить основой для дальнейших исследований эколого-экономического баланса территории, и хотя полученные результаты носят достаточно усредненный характер, они позволяют определить основные закономерности пространственной организации структуры антропогенного давления на окружающую среду Мордовии и могут служить основой для регламентации хозяйственной деятельности. В частности, совершенно понятно, что недопустимо дальнейшее наращивание техногенного давления в Саранско-Рузаевском промышленном узле, ведь уже в настоящее время эта территория является «донором» окружающих ее районов. Для получения более точных результатов необходимо учитывать антропогенное давление, осуществляемое сопредельными территориями, а также направления местного переноса воздушных масс.

#### **4.4. Техногенное воздействие на атмосферу**

При исследовании техногенного загрязнения воздуха целесообразно учитывать, что существует макрорегиональное, трансграничное и глобальное загрязнение атмосферы, приводящее к постепенному накоплению экологических изменений в планетарном масштабе [Акимова, Хаскин, 1994], и загрязнение непосредственной среды обитания приземного слоя воздуха в промышленных центрах, где большое число стационарных источников выбросов и транспортных средств сочетается с высокой плотностью населения.

Чистота атмосферного воздуха в значительной мере определяется уровнем развития производства и совершенством природоохранной деятельности. В развитых индустриальных странах уровень очистки промышленных выбросов весьма высок и составляет от 70 до 75 % (в ФРГ и Японии), а на отдельных объектах достигает 96 %. На территории Мордовии только в Чамзинском, Лямбирском, Большеигнатовском, Большеберезниковском и Кадошкинском районах объем улавливаемых загрязняющих веществ обычно превышает 50 % .

По условиям выбросов источники загрязнения делятся на две большие группы: стационарные (промышленные предприятия, энергетические установки и т. д.) и передвижные (различные транспортные средства). В зависимости от структуры источника выбросов (отрасли производства, уровня очистки промышленных выбросов и т. д.) и природных условий загрязнение окружающей среды может наблюдаться на расстоянии от нескольких метров до десятков километров. При этом наиболее контрастные атмосферные и геохимические аномалии формируются, как правило, возле источников загрязнения.

Выбросы транспортных средств оказывают влияние на окружающую среду вдоль всех магистралей. Ширина полосы воздействия зависит от интенсивности движения, структуры транспортного потока и природных условий.

На территории Республики Мордовия расположено более 10 тысяч природопользователей, около 30 % имеют стационарные источники загрязнения атмосферы. В табл. 21, 22 приведены данные о динамике выбросов загрязняющих веществ в атмосферу республики в период с 1987 по 2002 гг. Как видно из таблиц, в период с 1987 по 1990 г. объем выбросов вредных веществ изменялся незначительно. Устойчивое снижение выбросов от стационарных источников в атмосферу происходит с 1990 по 1998 г.: со 122,0 тыс. т в 1990 г. до 39,3 тыс. т в 1998 г. После 1998 г. отмечается рост выбросов загрязняющих веществ, однако в последние два года наметилась тенденция к их уменьшению.

Таблица 21

**Изменение выбросов в атмосферу от стационарных источников, тыс. т в год**  
(составлено по данным государственных докладов о состоянии окружающей среды Республики Мордовия)

Вредные вещества	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Твердые	52,5	51,5	54,6	58,4	53,5	42,1	29,1
В том числе:							
неорганическая пыль	49,3	45,3	47,7	48,7	46,2	35,6	23,8
органическая пыль	2,8	4,5	5,1	1,2	1,3	1,2	1,1
Газообразные и жидкие	66,2	64,6	58,9	63,6	55,6	47,3	56,6
В том числе:							
диоксид серы	35,9	33,5	28,9	23,3	20,5	17,6	16,7
окись углерода	12,5	13,0	13,4	24,8	21,8	18,6	18,6
окись азота	14,1	14,5	13,2	12,4	9,7	8,4	7,7
углеводороды	0,8	1,0	1,1	0,1	0,2	0,5	10,8
ВСЕГО	118,7	116,1	113,5	122,0	109,1	89,4	85,7

**Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс. т**  
(составлено по данным государственных докладов о состоянии окружающей среды  
Республики Мордовия)

Ингредиенты	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Выбросы вредных веществ от стационарных источников	85,7	55,0	48,4	48,0	47,4	39,3	49,5	60,0	56,2	54,4
В том числе:										
твердых	29,1	18,8	15,3	13,0	15,4	8,5	19,4	19,5	19,8	19,7
газообразных и жидких	56,7	36,1	33,1	35,0	32,0	30,8	26,9	40,5	36,4	34,7
Выбросы вредных веществ от передвижных источников	91,4	69,2	62,5	53,1	58,4	61,1	67,2	66,4	67,8	67,8
Суммарные выбросы (стационарные источники и автотранспорт)	177,1	124,1	110,9	101,1	105,8	100,3	116,7	126,3	124,0	122,2

Определенную озабоченность вызывает тот факт, что при наблюдающемся росте промышленного производства в период с 1999 по 2003 г. (более 20 % в год) и существенном росте автопарка, по официальным данным, в последние три года не отмечается роста выбросов загрязняющихся веществ! При этом затраты на охрану атмосферы падают. С нашей точки зрения, это может свидетельствовать о существенных сбоях в системе контроля за выбросами в атмосферу, что требует введения более прозрачной системы их учета и нормирования.

В соответствии с федеральными законами [Федеральный закон..., 1999, 2002] при установлении нормативов выбросов (ПДВ, ВСВ) в настоящее время необходимо учитывать технические (технологические) нормативы выбросов (ТНВ). Причем норматив ПДВ устанавливается с учетом ТНВ, а норматив ВСВ может быть установлен только при условии соблюдения ТНВ.

ТНВ – это характеристики уровня экологичности технологического оборудования или процесса, которые достаточно широко используются за рубежом. Наличие таких нормативов позволяет существенно упростить контроль за воздухоохранной деятельностью предприятий и обоснованно разрабатывать стратегию снижения негативного воздействия конкретного объекта на окружающую природную среду. Еще один важный аспект развития принципов нормирования связан с организацией системы сводных расчетов загрязнения атмосферы в городах и использованием их результатов при нормировании выбросов. Необходимо как можно более быстрое внедрение данной системы нормирования.

Значительные колебания в выбросах вредных веществ в течение последних пяти лет наблюдаются в электроэнергетической отрасли и производстве строи-

тельных материалов (табл. 23). В электроэнергетике это зависит от количества вырабатываемой теплоэлектроэнергии, а также от доли сжигаемого газа в топливном балансе теплоэлектростанций. В производстве строительных материалов (ОАО «Мордовцемент») ежегодно уделяется большое внимание капитальному ремонту газопылеулавливающего оборудования, однако увеличение объемов выпуска цемента влечет за собой и рост выбросов цементной, опочной, известняковой пыли.

Таблица 23

**Динамика выбросов по основным отраслям от стационарных источников, тыс. т**  
[Государственный..., 2003]

Отрасль	1998	1999	2000	2001	2002
Электроэнергетика	16,313	14,726	25,723	22,194	21,302
Сельское хозяйство	5,118	4,848	4,587	4,567	4,439
Машиностроение и металлообработка	2,223	2,093	2,133	2,203	1,851
Химическая и нефтехимическая промышленность	0,218	0,212	0,202	0,254	0,213
Производство строительных материалов	8,669	21,254	21,254	21,889	21,580
Жилищно-коммунальное хозяйство	3,551	3,175	2,961	2,331	2,173
Торговля и общественное питание	0,431	0,424	0,373	0,419	0,385
Транспорт	0,627	0,620	0,557	0,572	0,592
Прочие	2,067	2,078	1,859	1,733	1,771
Всего	39,217	49,430	59,649	56,162	54,306

Существенный вклад в загрязнение атмосферы от стационарных источников вносят пять основных отраслей: предприятия по производству строительных материалов – 39,7 %, топливно-энергетического комплекса – 39,2, сельского хозяйства – 8,2, жилищно-коммунального хозяйства – 4,0, машиностроения и металлообработки - 3,4 %. На долю этих отраслей приходится 94,5 % всех выбросов. Доля предприятий топливно-энергетического комплекса и производства строительных материалов составляет 4/5 (или 78,9 %) всех выбросов стационарных источников. В общем объеме выбросов преобладают газообразные и жидкие - 63,8 %, твердые примеси составляют 36,2 %.

По массе выбросов стационарных источников основными загрязняющими веществами являются: метан, пыль неорганическая, оксид углерода, окислы азота, диоксид серы, зола, доля которых составляет 98,0 % (табл. 24).

Таблица 24

**Динамика выбросов основных загрязняющих веществ по Республике Мордовия за 1998 – 2002 гг., тыс. т**

Загрязняющие вещества	1998	1999	2000	2001	2002
Метан	2,679	3,277	19,360	16,496	14,811
Пыль неорганическая	6,582	17,858	18,023	18,422	18,324
Оксид углерода	7,866	7,174	6,292	6,212	6,042
Окислы азота	6,305	7,411	6,799	7,075	7,077
Диоксид серы	9,886	10,077	8,428	4,533	3,115
Зола	0,878	0,795	0,691	0,584	0,543

В атмосферный воздух республики поступает свыше 200 ингредиентов, из них 1-го класса опасности – 13, 2-го – около 40. Наибольшее количество веществ 1-го и 2-го класса опасности выбрасывается электротехнической, химической и нефтехимической, медицинской отраслями.

Очень опасным в структуре выбросов является диоксид серы, который при определенных природных условиях образует кислотные дожди, что приводит к существенному подкислению поверхностных вод и почв. Поступление диоксида серы, а также оксидов азота в почву и водные объекты способствует более интенсивному переходу некоторых металлов в растворимые формы. Среди других химических наиболее опасными являются тяжелые металлы. Следует учитывать, что значительное их количество содержится в неорганической пыли, саже, золе и пр. Состав и концентрация химических элементов в пыли зависит от типа производства. Минеральные удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, обогащены стронцием, иттрием, иттербием, оловом и кадмием.

Жилищно-коммунальное хозяйство выбрасывает в атмосферу прежде всего газообразные и жидкие вещества, в том числе окись углерода, окислы азота, метан.

Среди передвижных источников загрязнения ведущая роль принадлежит автотранспорту. В его выбросах преобладают свинец, медь, никель и хром. Пыль, образующаяся при истирании шин, содержит цинк и кадмий. Наиболее вредными веществами в выбросах автотранспорта являются оксид углерода (0,5 – 10 % объемов выбросов), оксид азота (до 0,8 %), несгоревшие углеводороды (0,2 – 3 %).

Для территории Мордовии характерна неравномерность в размещении крупных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Практически на долю Саранского (15,2 %), Чамзинского (38,2 %) и Торбеевского (31,5 %) промышленных узлов приходится 85 % выбросов от стационарных источников (табл. 25).

Таблица 25

**Загрязнение атмосферного воздуха выбросами стационарных источников предприятий районов и городов республики, тыс. т**  
(составлено по данным государственных докладов о состоянии окружающей среды Республики Мордовия)

Район	Выброшено в 1993 г.	Выброшено в 1999 г.	Выброшено в 2002 г.	% от валового выброса в 2002 г.
1	2	3	4	5
Ардатовский	1,300	0,558	0,520	0,96
Атюрьевский	0,135	0,118	0,121	0,2
Атяшевский	1,017	0,404	0,312	0,6
Большеберезниковский	0,618	0,271	0,231	0,4
Большеигнатовский	0,152	0,155	0,121	0,2
Дубенский	0,247	0,213	0,215	0,4
Ельниковский	0,501	0,228	0,264	0,5
Зубово-Полянский	3,690	1,255	0,965	1,8
Инсарский	0,635	0,193	0,268	0,5

1	2	3	4	5
Ичалковский	1,120	0,287	0,284	0,5
Кадошкинский	0,296	0,290	0,198	0,36
Ковылкинский	3,306	0,947	0,796	1,46
Кочкуровский	0,381	0,137	0,137	0,25
Краснослободский	1,262	0,354	0,369	0,7
Лямбирский	0,864	0,557	0,767	1,4
Ромодановский	1,310	1,792	0,526	1,0
Рузаевский	3,403	1,649	1,212	2,23
Старошайговский	0,789	0,201	0,200	0,37
Темниковский	1,086	0,114	0,140	0,26
Теньгушевский	0,993	0,496	0,513	0,94
Торбеевский	17,804	3,268	17,142	31,5
Чамзинский	27,779	20,651	20,790	38,2
г. Саранск	16,968	12,262	8,263	15,2

В Торбеевском районе 99 % выбросов приходится на долю Торбеевского ЛПУМГ, в Чамзинском районе 97 % - на предприятия по производству строительных материалов. В Рузаевском районе выбросы жилищно-коммунального хозяйства составляют 38,5 %. В большинстве остальных районов республики свыше половины выбросов приходится на предприятия сельскохозяйственного назначения. В период с 1993 по 2002 г. выбросы загрязняющих веществ сократились почти во всех районах республики, причем наиболее существенно в таких районах, как Ковылкинский, Zubovo-Полянский, Краснослободский. В Атюрьевском, Большеигнатовском, Дубенском, Кадошкинском районах они остались практически на том же уровне

Наиболее высоким процентом содержания веществ, относящихся к 1-му и 2-му классам опасности, характеризуются выбросы в городах Саранск, Рузаевка, в Инсарском, Торбеевском, Краснослободском, Чамзинском и Кочкуровском районах.

Комплексный эколого-геохимический анализ территории позволяет определить пути поступления загрязняющих веществ в ландшафты и природные воды, дать характеристику их современного состояния и наметить пункты для мониторинга. Традиционным подходом эколого-геохимической оценки является рассмотрение депонирующих сред: снежного покрова, почв и донных отложений. Необходимо рассматривать их как по отдельности, так и в совокупности в качестве звеньев единой региональной системы.

Большой массив полученных данных (более 1 000 наблюдений по 22 микроэлементам) требует для анализа применения статистических методов, позволяющих выявить основные структурные закономерности поступления микроэлементов в ландшафты [Киришин и др., 1998].

Подсистема, описывающая содержания микроэлементов в снеговой пыли (условное название «Снег»), была сведена к трехфакторному базису. В табл. 26 приведены факторные нагрузки к каждому из факторов для логарифмов выпа-

дения микроэлементов со снегом. Знак показывает направление зависимости элемента от фактора, а значение – ее масштабы. Приведены также накопленные суммы коэффициентов детерминации элементов от факторов, которые показывают общее качество описания элемента и его изменение при добавлении факторов. В целом трехфакторная система с высокой точностью описывает варьирование логарифмов выпадения микроэлементов. С минимальной точностью описываются элементы, для которых чувствительность метода определения была ниже, чем концентрация микроэлементов в снеговой пыли (Li, Nb). Большинство же элементов имеют коэффициенты детерминации 0,65 – 0,91, причем уже первый фактор описывает наибольшую часть их общей вариации.

Таблица 26

**Зависимость выпадения микроэлементов со снегом от первых трех факторов ( $R^2$  - множественный коэффициент корреляции)**

Элемент	Коэффициент чувствительности к факторам			Накопленный вклад факторов			$R^2$
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	
Серебро	0,47511	<b>0,547478</b>	0,081179	0,23	0,53	0,53	0,502
Барий	<b>0,73793</b>	- 0,112672	- 0,091150	0,54	0,56	0,57	0,583
Бериллий	<b>0,77384</b>	- 0,141900	0,088518	0,60	0,62	0,63	0,646
Кобальт	<b>0,90528</b>	0,134326	0,108745	0,82	0,84	0,85	0,859
Хром	<b>0,91630</b>	- 0,079551	- 0,112818	0,84	0,85	0,86	0,858
Медь	<b>0,71532</b>	- 0,120271	<b>- 0,390342</b>	0,51	0,53	0,68	0,664
Галлий	<b>0,93442</b>	0,022729	- 0,006270	0,87	0,87	0,87	0,883
Литий	<b>0,44708</b>	0,030047	0,099881	0,20	0,20	0,21	0,284
Марганец	<b>0,90986</b>	- 0,112079	- 0,121893	0,83	0,84	0,86	0,854
Молибден	<b>0,72438</b>	0,160361	0,086897	0,52	0,55	0,56	0,579
Ниобий	<b>0,44592</b>	<b>- 0,303768</b>	0,058830	0,20	0,29	0,29	0,384
Никель	<b>0,90641</b>	- 0,009846	- 0,117715	0,82	0,82	0,84	0,862
Свинец	<b>0,82352</b>	0,042308	<b>- 0,335424</b>	0,68	0,68	0,79	0,775
Скандий	<b>0,72370</b>	- 0,096257	<b>0,288221</b>	0,52	0,53	0,62	0,617
Олово	<b>0,64727</b>	<b>0,374434</b>	- 0,105028	0,42	0,56	0,57	0,562
Стронций	<b>0,74868</b>	0,222286	<b>0,230498</b>	0,56	0,61	0,66	0,666
Титан	<b>0,93334</b>	- 0,116195	0,091837	0,87	0,88	0,89	0,917
Ванадий	<b>0,93431</b>	- 0,063588	0,012988	0,87	0,88	0,88	0,908
Иттрий	<b>0,84425</b>	- 0,166239	0,134335	0,71	0,74	0,76	0,769
Иттербий	<b>0,94312</b>	- 0,049425	0,125338	0,89	0,89	0,91	0,906
Цинк	<b>0,71954</b>	<b>0,357952</b>	- 0,118027	0,52	0,65	0,66	0,643
Цирконий	<b>0,88530</b>	- 0,238361	0,059279	0,78	0,84	0,84	0,875
Вклад фактора	0,62796	0,042577	0,025861				

Примечание: жирным шрифтом обозначены наиболее значимые зависимости.

В целом первый фактор описывает 63 % общей вариации выпадений, второй – 4 %, третий – 2,5 %. За исключением серебра, первый фактор является ве-

душим для всех элементов и имеет со всеми элементами положительный коэффициент чувствительности. Таким образом, данный фактор в обобщенном виде отображает изменение выпадения практически всех микроэлементов: чем больше его значение, тем в среднем больше выпало микроэлементов. Его можно рассматривать как интегральный показатель интенсивности выпадений микроэлементов. Так как этот фактор определяет подавляющую долю вариации выпадений, то для выявления общих закономерностей поступления микроэлементов на территорию можно ограничиться рассмотрением только этого фактора. Вместе с тем второй и третий факторы дают дополнительную характеристику по ряду элементов. Так, второй фактор является ведущим для серебра, а также имеет высокие положительные нагрузки для цинка и олова. Третий фактор несколько уточняет поведение меди и свинца (средние отрицательные нагрузки).

Ведущему значению первого фактора в определении пространственного варьирования подавляющего большинства микроэлементов соответствует его прямая, почти линейная связь с логарифмом их суммарной массы, описываемая следующим уравнением:

$$\ln M = 11,839 + 1,1681F1 \text{ при } R^2=0,9,$$

где  $M$  – суммарная масса выпавших микроэлементов;  $F1$  – первый фактор факторного анализа.

Таким образом, первый фактор фактически отображает общую сумму выпадающих загрязнений.

Второй фактор четко определяет массу цинка, олова и серебра, а третий – свинца и меди. Все эти элементы относятся к халькофилам и приурочены к мелкодисперсным аэрозольным частицам атмосферы, поэтому более интенсивно вовлекаются в макрорегиональный перенос [Елпатьевский, 1993].

Расчеты значений  $F$ -критерия и коэффициента  $Rao$ , позволили оценить достоверность влияния независимо измеренных переменных (отражающих основные физико-географические и антропогенные параметры) на вариабельность трех факторов, описывающих концентрацию микроэлементов в снеговой пыли. Наиболее достоверное влияние на вариабельность всей системы факторов имеют зимние осадки, высота снежного покрова, температурные условия, техногенные переменные, характер подстилающей поверхности (гранулометрический состав почвообразующих пород).

Оценка возможного влияния основных переменных осуществляется на основе двухфакторного дисперсионного анализа. Допустим, верна гипотеза, что концентрация микроэлементов в снеговой пыли есть функция количества выпадающих осадков и направления переноса, и они не связаны с характером подстилающей поверхности. Тогда должно быть значимым влияние экспозиции склонов на фоне почв, количества осадков на фоне почв, экспозиции на фоне осадков. Если такого влияния нет, то это будет означать, что содержание микроэлементов обусловлено характером подстилающей поверхности и содержание микроэлементов в снеге не является функцией климатических и орографических переменных.

Оценка достоверности влияния экспозиции, механического состава и их совместного влияния по каждому из факторов (на основе F-критерия) и вклада в описание вариабельности рассматриваемых факторов (на основе корреляционного отношения  $\eta$ ) приведена в табл. 27, а оценка их совместного влияния ( $R_{ao}$ ) на все три фактора – в табл. 28.

Таблица 27

**Оценка достоверности влияния экспозиции на фоне характера подстиляющих пород**

Переменная	$\eta \cdot 100$	Между группами		Внутри групп		F- критерий	р-уровень
		Число степеней свободы	Дисперсия	Число степеней свободы	Дисперсия		
<b>Фактор 1</b>							
Экспозиция	1,5	7	2,466553	1181	0,893352	<b>2,761009</b>	0,00755
Механический состав	0,01	2	,045470	1181	0,893352	0,050898	0,95037
Совместное влияние переменных	1,5	14	1,342361	1181	0,893352	1,502612	0,10273
<b>Фактор 2</b>							
Экспозиция	1,4	7	2,169072	1181	0,643445	<b>3,371031</b>	0,00144
Механический состав	1,2	2	5,789094	1181	0,643445	<b>8,997035</b>	0,00013
Совместное влияние переменных	1,45	14	1,459545	1181	0,643445	2,268330	0,00472
<b>Фактор 3</b>							
Экспозиция	1,1	7	1,549680	1181	0,688258	<b>2,251598</b>	0,02810
Механический состав	0,5	2	2,824102	1181	0,688258	<b>4,103262</b>	0,01675
Совместное влияние переменных	2,6	14	2,182928	1181	0,688258	<b>3,171672</b>	0,00006

Таблица 28

**Суммарная оценка достоверности влияния экспозиции и характера подстиляющих пород на изменчивость базовых снеговых факторов**

Переменная	$R_{ao}$	р-уровень
Экспозиция	2,908966	0,000010
Механический состав	4,380968	0,000208
Совместное влияние переменных	2,381079	0,000002

По первому фактору (общие масштабы поступления микроэлементов) влияние характера подстиляющих пород недостоверно. Собственно экспозиция и экспозиция совместно с подстиляющей поверхностью вносят достоверный вклад в описание части варьирования. На два других фактора (халькофильные элементы) достоверно влияют обе переменные. Из табл. 27 следует, что экспо-

зицией объясняется 1,1 – 1,5 % вариабельности факторов, совместное влияние двух переменных наибольшее для третьего фактора. Низкие общие значения вклада рассматриваемых переменных указывают на то, что на вариабельность факторов подсистемы «Снег» влияют и другие переменные. К тому же трудно ожидать, что, рассматривая влияние очень обобщенных переменных на вариабельность результатов одноразовых наблюдений, можно было бы получить более сильные вклады. Тем не менее доказано, что влияние экспозиции достоверно, т. е. концентрация микроэлементов является в том числе и функцией взаимодействия воздушных масс с макрорельефом. Можно полагать, что вклад подстилающих пород в содержание микроэлементов в снеговой пыли также существует и проявляется как самостоятельно, так и во взаимодействии с воздушными массами. Анализ изменения значений факторов в зависимости от экспозиции на фоне характера подстилающих пород показал, что максимальные концентрации микроэлементов наблюдаются на северо-восточных склонах, т. е. на обратной по отношению к направлению господствующих воздушных масс их стороне в мезомасштабе.

Аналогичным образом дается оценка достоверности влияния осадков на фоне характера подстилающих пород. Из табл. 29 следует, что это влияние достоверно для всех трех факторов. Так, 2,1 % вариабельности первого фактора может быть объяснено влиянием осадков, такая же доля изменчивости этого фактора объясняется совместным влиянием осадков и гранулометрического состава почвообразующих пород.

Таблица 29

**Оценка достоверности влияния осадков на фоне характера подстилающих пород  
(для системы концентрации микроэлементов в снеговой пыли)**

Переменная	$\eta \cdot 100$	Между группами		Внутри групп		F-критерий	P-уровень
		Число степеней свободы	Дисперсия	Число степеней свободы	Дисперсия		
<b>Фактор 1</b>							
Осадки	2,1	4	5,53363	1190	0,887155	6,23750	<b>0,000057</b>
Механический состав	0,4	2	1,99588	1190	0,887155	2,24975	0,105873
Совместное влияние переменных	2,1	8	2,73150	1190	0,887155	3,07895	<b>0,001932</b>
<b>Фактор 2</b>							
Осадки	1,2	4	3,22844	1190	0,678890	4,75547	<b>0,000827</b>
Механический состав	2,2	2	10,4588	1190	0,678890	15,4058	<b>0,000000</b>
Совместное влияние переменных	1	8	1,25295	1190	0,678890	1,84559	0,065019
<b>Фактор 3</b>							
Осадки	1,2	4	3,069234	1190	0,709987	4,322948	<b>0,001782</b>
Механический состав	0,2	2	0,951225	1190	0,709987	1,339780	0,262298
Совместное влияние переменных	0,6	8	0,848881	1190	0,709987	1,195629	0,297980

Для второго фактора (халькофильные элементы) большее значение имеет механический состав почвообразующих пород подстилающей поверхности. Влияние рассматриваемых переменных на изменчивость третьего фактора недостоверно. Максимальные значения первого фактора наблюдаются при самых низких и самых высоких зимних осадках, минимальные – при средних осадках в области распространения пород легкого и среднего гранулометрического состава и при большом количестве осадков, если подстилающие породы глинистые. Таким образом, можно заключить, что общая концентрация микроэлементов возрастает в том случае, когда количество осадков незначительно (и, следовательно, вымываемые осадками аэрозоли и частицы пыли будут более обогащены микроэлементами).

Экспозиция играет большее значение в вариации факторов, чем количество осадков (табл. 30). Совместное влияние имеет практически такую же степень достоверности, что и воздействие экспозиции. Отсюда следует вывод, что выпадение микроэлементов есть функция совместного воздействия количества осадков и направления действия воздушных масс, проявляющегося на местности через экспозицию склонов.

Таблица 30

**Суммарная оценка достоверности влияния экспозиции склона и количества выпадающих осадков на изменение базовых факторов**

Переменная	Rao	p-уровень
Осадки	1,424538	0,201269
Экспозиция	3,181953	<b>0,000001</b>
Совместное влияние переменных	3,115041	<b>0,000000</b>

Совместное влияние осадков и экспозиции больше, чем отдельное влияние этих переменных для всех факторов, особенно для третьего (прежде всего по свинцу и меди). Влиянием осадков, экспозиции, а также их совместным воздействием объясняется 4,4 % вариации для первого фактора, 4,7 % – для второго, 6,1 % – для третьего (табл. 31).

Таблица 31

**Совместное влияние осадков и экспозиции на вариабельность факторов**

Переменная	$\eta \cdot 100$	F-критерий	p-уровень
Фактор 1			
Осадки	0,3	1,382651	0,251363
Экспозиция	1,6	2,302795	0,024788
Совместное влияние переменных	2,5	2,038565	0,012890
Фактор 2			
Осадки	0,4	2,366523	0,094300
Экспозиция	2,0	4,032132	0,000227
Совместное влияние переменных	2,3	2,485653	0,001781
Фактор 3			
Осадки	0,1	0,515486	0,597359
Экспозиция	1,6	3,182029	0,002445
Совместное влияние переменных	4,5	4,734855	0,000000

Необходимо также установить, какова роль антропогенного фактора в выпадении микроэлементов. Это можно сделать при одновременном рассмотрении техногенных и ландшафтных переменных. В качестве природной переменной можно взять почвы или их механический состав, отражающие естественные группировки территории или обобщенные ландшафтные переменные (таксоны ПТК). Если окажется, что на фоне природных факторов достоверность влияния техногенных переменных на вариабельность факторов будет низкой, то это будет означать, что для данной территории вклад антропогенной составляющей в выпадение микроэлементов невысок и территория в целом не подвергается существенному антропогенному загрязнению.

Влияние городов на изменчивость первого и второго базовых факторов можно оценить как достоверное (табл. 32). Однако влияние обобщенных ландшафтных характеристик более существенно и выше, чем влияние крупных населенных пунктов для первого фактора приблизительно в два раза, для второго – в 6 раз, для третьего – более чем в 20 раз. Таким образом, изменение концентраций микроэлементов в снеговой пыли на территории Мордовии в большей степени зависит от конкретных физико-географических условий (как было установлено, атмосферной циркуляции и количества осадков), чем от влияния городов. Общее среднее воздействие всех трех факторов может рассматриваться как достоверное.

Таблица 32

**Оценка достоверности влияния крупных населенных пунктов на фоне ландшафтных классов второго иерархического уровня**

Переменная	$\eta \cdot 100$	F критерий	p-уровень
Фактор 1			
Ландшафтные классы	3,5	<b>12,75920</b>	0,000000
Влияние городов	1,7	<b>17,96594</b>	0,000024
Совместное влияние переменных	1,1	3,46517	0,015778
Фактор 2			
Ландшафтные классы	6,0	<b>28,04952</b>	0,000000
Влияние городов	1,0	<b>12,44804</b>	0,000434
Совместное влияние переменных	1,0	5,26524	0,001307
Фактор 3			
Ландшафтные классы	2,3	<b>11,28560</b>	0,000000
Влияние городов	0,1	0,76199	0,382881
Совместное влияние переменных	3,5	<b>17,07125</b>	0,000000

Изменения значений факторов в зависимости от класса ПТК и урбанизированности территории (крупные населенные пункты – прочая территория) приведены на рис. 28. Из моделей следует, что концентрации микроэлементов в снеговой пыли существенно выше в городах во всех выделенных классах, за исключением долинных ПТК, в которых средние значения практически одинаковы. По второму фактору повышенная концентрация халькофильных микроэлементов наблюдаются вне территории городов, такие же закономерности характерны и для третьего фактора.

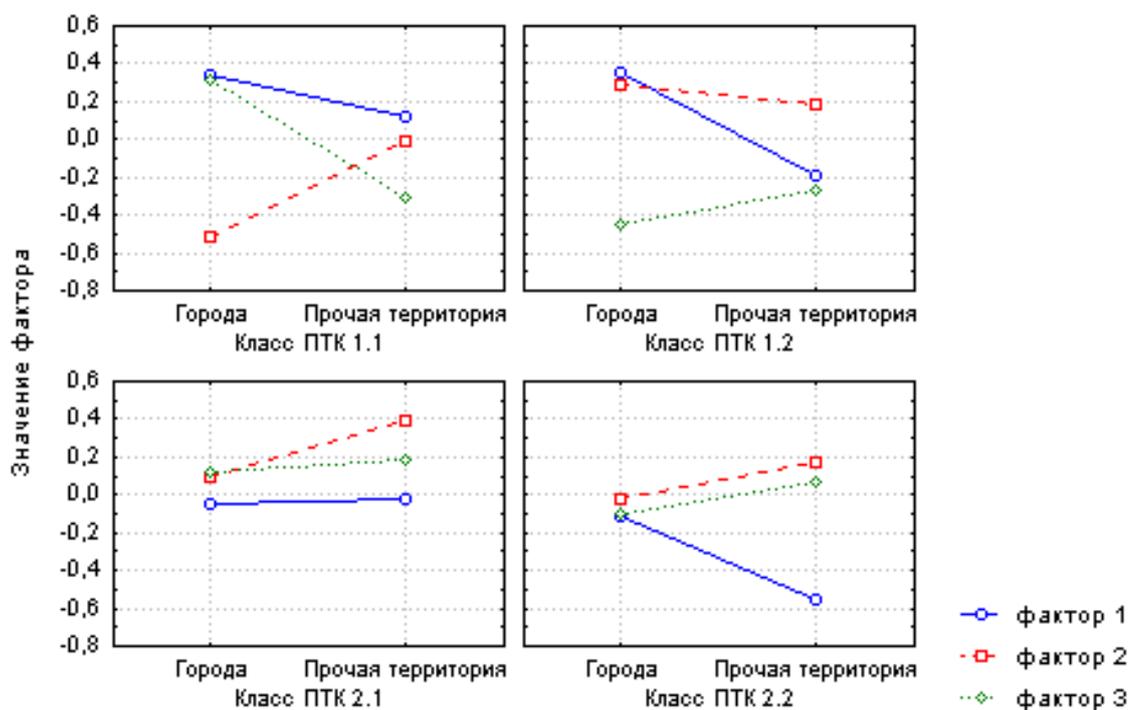


Рис. 28. Изменение значений факторов в зависимости от урбанизированности территории и классов ПТК (название классов ПТК приведено на рис. 25).

Дополнительный статистический анализ показал, что вариабельность факторов существенно зависит от характера природно-социально-производственной системы конкретного населенного пункта. Наибольшие значения первого фактора наблюдаются в промышленно развитых населенных пунктах: Саранск, Кадошкино, наибольшие значения по второму фактору в – Лямбуре и Кочкурове, т. е. пунктах, находящихся в непосредственной близости от наиболее крупного города Саранска.

Результаты двухвариантного дисперсионного анализа, характеризующие влияние на вариабельность факторов удаленности от основных потенциальных источников загрязнения (на фоне классов ПТК) приведены в табл. 33. Изменение значений факторов в зависимости от расстояния до крупных населенных пунктов в целом достоверно; значимо и совместное влияние этих двух переменных.

Таблица 33

**Суммарная оценка достоверности влияния удаленности от городов на изменчивость факторов**

Переменная	Rao	p-уровень
Класс ПТК	<b>11,21927</b>	0,000000
Расстояние до городов	<b>4,98120</b>	0,000000
Совместное влияние переменных	<b>3,67719</b>	0,000000

Максимальные значения по первому фактору наблюдаются во всех классах в самых крупных населенных пунктах или на удалении до 5 км (рис. 29). По

второму фактору (Ag, Zn, Sn) максимальные значения наблюдаются на удалении от населенных пунктов 10 – 20 км (кроме класса ПТК 1.2).

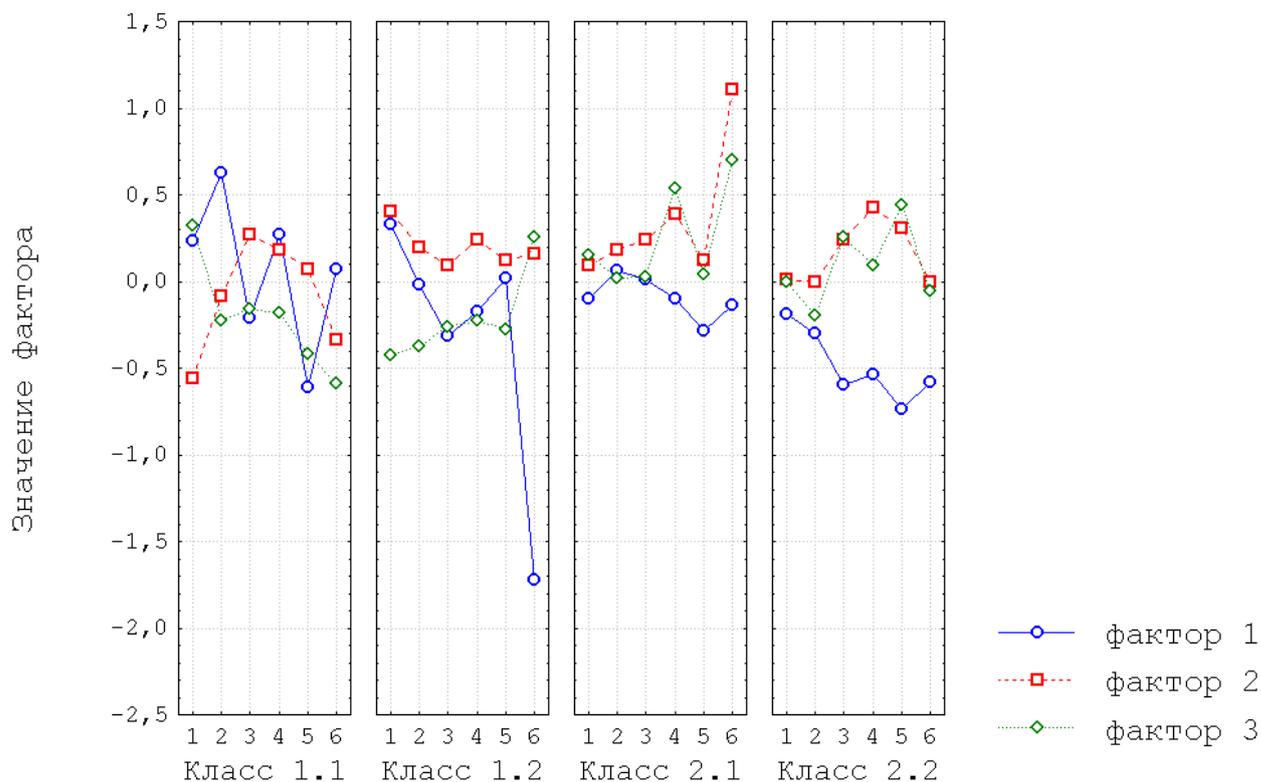


Рис. 29. Изменение значений факторов в зависимости от расстояния до крупных населенных пунктов и классов ПТК: 1 – территория города; 2 – до 5 км; 3 – от 5 до 10 км; 4 – от 10 до 15 км; 5 – от 15 до 20 км; 6 – более 20 км

Таким образом, даже результаты одноразовых наблюдений позволяют оценить основные структурные закономерности поступления микроэлементов в ландшафты, однако для более точных выводов необходимы ежегодные мониторинговые наблюдения за состоянием снежного покрова. Учитывая полученные выводы, можно существенно сократить сеть наблюдений, разместив точки отбора проб в наиболее характерных ландшафтах с учетом направления массопереноса, рельефа и структуры гидрографической сети (фоновый мониторинг) и увеличив число точек наблюдения вблизи основных источников поступления микроэлементов в атмосферу.

Антропогенное влияние на вариабельность концентраций микроэлементов статистически достоверно, но меньше влияния природных факторов. При этом за последние годы произошла стабилизация объемов выбросов загрязняющих веществ при увеличении доли передвижных источников загрязнения. На качество природных вод существенное влияние оказывают тяжелые металлы. Их поступление из атмосферы наиболее значительно в трех районах с наибольшими выбросами загрязняющих веществ (г. Саранск, Чамзинский и Торбеевский районы). Наибольшее загрязнение снежного покрова и почв наблюдается в районных центрах и вдоль отдельных участков автодорог.

Таким образом, можно заключить, что, во-первых, поступление микро-элементов со снегом в ландшафты есть функция совместного действия количества выпадающих осадков и направления переноса; во-вторых, существенной является роль характера подстилающей поверхности и антропогенного фактора. Однако на рассматриваемой территории вклад антропогенного фактора по крайней мере не выше природного.

#### **4.5. Геоэкологическая типология административно-территориальных районов Мордовии**

В геоэкологии до самого последнего времени вопросам районирования уделялось явно недостаточное внимание. Видимо, это связано с «молодостью» данной научной дисциплины и сложностью изучаемых объектов. В самом деле, достаточно полно, например, разработана теория физико-географического или экономико-географического районирования, широко представлены и прикладные опыты таксонирования территорий (достаточно подробно этот вопрос рассмотрен, например, В. П. Максаковским [1998], В. С. Тикуновым [1997а]). Но практически нет работ, где была бы обобщена методология построения схем геоэкологического районирования. Хотя, с нашей точки зрения, такое районирование очень важно проводить при анализе комплексных природно-социально-экономических систем разного ранга, что позволяет существенно уменьшить затраты на изучение территории за счет обобщения основных закономерностей для выделяемых таксонов.

Необходимо помнить, что процесс геоэкологического районирования не является самоцелью, он всегда направлен на решение конкретных задач выявления пространственно-временных закономерностей взаимодействия прежде всего общества и природы той или иной территории и используется в качестве важного инструмента познания. Как правило, геоэкологическое районирование выполняется в рамках более широкого исследования. При этом особое значение геоэкологическое районирование может играть в решении задач оптимизации развития природно-социально-производственных систем регионов.

По нашему мнению, для исследования сложных пространственно-временных объектов (с которыми мы сталкиваемся при геоэкологическом исследовании) весьма эффективным является применение методологии построения и изучения систем разных эпистемологических уровней (уровней познания), предложенной Дж. Клиром [1990]. Данная методология позволяет провести анализ исследуемого объекта, изучить его структурные особенности, поведение и динамику, используя хорошо обоснованные правила действий. Применительно к районированию целесообразна следующая схема последовательных действий: 1) построение системы нулевого уровня (исходная система): определение целей и задач районирования; выбор используемых переменных, наиболее полно отображающих свойства изучаемого объекта, оценка их математических свойств; 2) построение системы первого уровня (система данных): приведение всей системы выбранных переменных к единой параметрической базе; 3) построение системы второго уровня (порождающая система): переменные

преобразуются в форму, обеспечивающую их соизмеримость; 4) построение системы третьего уровня (структурированные системы): системы первых уровней соединяются и на этой основе выделяются интегральные особенности отношений между переменными, осуществляется выделение таксонов; 5) построение метасистем: определяются связи между изученными выше отношениями.

В настоящем разделе показана возможность применения данной методологии к построению типологической схемы геоэкологического районирования Республики Мордовия для оценки перспектив развития народно-хозяйственного комплекса с учетом геоэкологических особенностей территории. В качестве исходных переменных были выбраны три основные группы характеристик: показатели здоровья населения (19 переменных), показатели техногенного воздействия на ландшафты (10), характеристики устойчивости ландшафтов к техногенным воздействиям (9).

Вначале были построены интегральные показатели внутри каждой из трех выше обозначенных подсистем. Это:  $Z_c^H$  – суммарный показатель загрязнения почв;  $Z_c^C$  – суммарный показатель загрязнения снежного покрова;  $У_r$  – ландшафтно-геохимическая устойчивость почв по М. А. Глазовской [1997] (данные показатели рассчитаны Ю. К. Стульцевым [Геоэкология..., 2001]); Т – показатель интегральной техногенной нагрузки, рассчитанный по методике А. В. Кирюшина [Кирюшин, 1994]; З – показатель, обратный индексу здоровья населения (рассчитан Ю. Д. Федотовым [Водные..., 1999]). В качестве единой параметрической базы были выбраны административные территориальные образования Республики Мордовия.

Наличие разнокачественных математических свойств переменных потребовало приведения их к соизмеримой форме. Для этого интегральные показатели по группам были переведены в балльную форму (табл. 34).

Таблица 34

**Интегральные показатели здоровья населения, степени антропогенной нагрузки и устойчивости ландшафтов, баллы**

Район	$Z_c^H$	$Z_c^C$	$У_r$	Т	З	Район	$Z_c^H$	$Z_c^C$	$У_r$	Т	З
Ардатовский	1	3	2	2	1	Кочкуровский	2	2	2	2	2
Атюрьевский	2	1	3	1	2	Краснослободский	1	1	2	2	1
Атяшевский	2	2	2	1	2	Лямбирский	1	2	2	2	2
Большеберезниковский	1	1	3	1	2	Ромодановский	1	1	2	3	1
Большеигнатовский	1	1	2	1	2	Рузаевский	1	1	2	3	2
Дубенский	3	2	1	2	1	Старошайговский	1	1	2	1	1
Ельниковский	1	1	3	2	2	Темниковский	3	2	3	1	1
Зубово-Полянский	2	2	3	2	1	Теньгушевский	1	1	2	2	1
Инсарский	1	2	2	2	2	Торбеевский	3	3	1	2	1
Ичалковский	1	2	2	1	2	Чамзинский	3	2	2	3	2
Кадошкинский	1	2	2	2	2	г. Саранск	3	3	2	3	3
Ковылкинский	1	2	3	2	2						

Далее был осуществлен их анализ с использованием статистических методов (методы ранговой корреляции), направленный на выявление основных ти-

пов взаимосвязей между уровнем здоровья населения, степенью техногенной нагрузки и устойчивостью ландшафтов к ним.

Расчет ранговых коэффициентов корреляции Спирмена между показателями здоровья, техногенной нагрузки и устойчивости природных комплексов показал (табл. 35), что существует весьма значительная связь между показателями здоровья населения и уровнем техногенного давления (коэффициент корреляции Спирмена 0,26). Данный показатель следует считать весьма высоким, учитывая сложность взаимосвязей в системе «человек – окружающая среда». Значимой и также положительной является связь уровня здоровья с устойчивостью ПТК к техногенному влиянию (0,067).

Таблица 35

**Ранговые коэффициенты корреляции между медико-геоэкологическими показателями**

Показатель	Здоровье	Техногенная нагрузка	Устойчивость
Здоровье	1,000000	0,260139	0,067029
Техногенная нагрузка	0,260139	1,000000	0,127502
Устойчивость	0,067029	0,127502	1,000000

Дополнительный анализ показал, что наибольшая связь с уровнем техногенного воздействия характерна для следующих показателей здоровья (табл. 35): болезни органов дыхания (0,60), инфекционные болезни (0,57), общая заболеваемость (0,29), младенческая смертность (0,25). Весьма высокие связи наблюдаются также между устойчивостью ПТК к техногенным нагрузкам и заболеваниями мочеполовой системы и общей заболеваемостью (табл. 36).

Таблица 36

**Коэффициенты корреляции Спирмена между медицинскими показателями, техногенной нагрузкой и устойчивостью ПТК**

Показатель	Техногенная нагрузка	Устойчивость
Младенческая смертность	+0,248143	-0,077285
Общая заболеваемость	+0,288538	+0,369162
Новообразования	+0,126482	+0,129973
Болезни органов дыхания	+0,596838	-0,121077
Болезни мочеполовой системы	-0,355731	+0,401779
Болезни нервной системы	+0,277668	-0,027675
Заболеваемость детей первого года жизни	-0,070158	+0,114159
Врожденные аномалии	-0,043521	+0,076181
Инфекционные болезни	+0,570158	-0,174450
Суммарный рейтинг заболеваемости	+0,260139	+0,067029

Типологическая классификация административных образований осуществлена стандартными процедурами кластер-анализа, K-means методом. В результате была получена следующая типология районов.

Первая группа районов характеризуется весьма существенной техногенной нагрузкой (3 балла), наиболее низким популяционным здоровьем населения и средней устойчивостью ПТК к техногенным воздействиям. В него входят

территории Саранского горсовета, МО Рузаевка и Чамзинского района. Определяющее значение в поведении природно-социально-производственной системы здесь играют промышленные, градостроительные и транспортные элементы. Возможности ПТК по нейтрализации техногенного воздействия существенно превышены, что и выражается в низком популяционном здоровье населения. Таким образом, уже сегодня определяющим фактором формирования здоровья населения являются масштабы антропогенной нагрузки.

Вторая группа районов характеризуется более высокими показателями здоровья при довольно высокой техногенной нагрузке (2,1 балла) и включает в себя территории Ардатовского, Дубенского, Ельниковского, Зубово-Полянского, Инсарского, Ковылкинского, Кадошкинского, Кочкуровского, Краснослободского, Лямбирского, Ромодановского, Теньгушевского и Торбеевского районов. Антропогенные нагрузки в настоящее время не являются определяющим фактором формирования здоровья населения, природные комплексы в целом еще справляются с техногенным давлением. Это, по всей вероятности, связано с высоким потенциалом устойчивости природных комплексов района к техногенному давлению. Не случайно суммарный показатель загрязнения почв данного типологического района является наиболее низким.

Третья группа районов определяется наименьшими показателями техногенного воздействия (1 балл), средними – здоровья населения и слабой устойчивостью ПТК. В него входят территории Атюрьевского, Атяшевского, Большеберезниковского, Большеигнатовского, Ичалковского, Старошайговского и Темниковского районов. Высокие показатели здоровья населения, по видимому, определяются прежде всего незначительной техногенной нагрузкой, и низкий потенциал устойчивости территории к антропогенным нагрузкам не играет пока существенной роли. Однако при резком увеличении антропогенного давления в данном районе следует ожидать ухудшения показателей здоровья.

Таким образом, наибольшим геоэкологическим потенциалом для дальнейшего развития народного хозяйства обладают территории второй группы районов. В первой группе районов уже сегодня необходимы срочные мероприятия по уменьшению антропогенного пресса на окружающую среду. Для административных образований, входящих в третью группу, требуется особая осторожность при планировании масштабов и характера природопользования.

#### **4.6. Геоэкологическое районирование Республики Мордовия**

Решение геоэкологических задач по анализу и оценке состояния ПСПС Республики Мордовия основывается: 1) на использовании системного, историко-генетического, ландшафтного, социально-экологического, природопользовательского и геоинформационного принципов; 2) дешифрировании аэро- и космофотоснимков; 3) ландшафтном картографировании; 4) анализе процессов хозяйственного освоения территории; 5) комплексной оценке состояния локальных ПСПС; 6) математико-картографическом моделировании развития природных, социальных и производственных процессов в региональной ГИС «Мордо-

вия». В качестве базовой основы использована электронная ландшафтная карта, с использованием которой составлена серия вспомогательных геоэкологических карт: устойчивости природных комплексов, геоэкологического потенциала, техногенных комплексов и объектов, техногенного изменения ландшафтов, регламентации хозяйственной деятельности. Схема геоэкологического районирования ПСПС представлена на рис. 30.

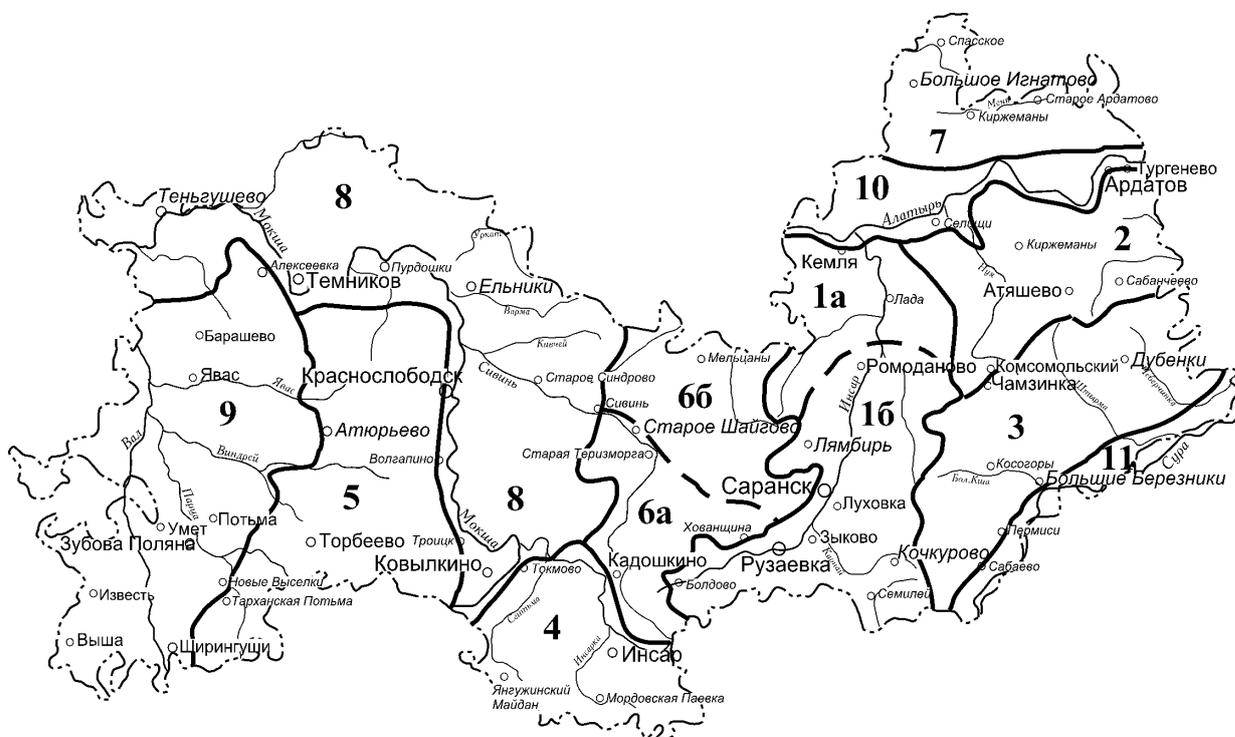


Рис. 30. Геоэкологические районы Мордовии:

- 1 – Инсарский (1а – Кемля-Ичалковский; 1б – Саранско-Рузаевский); 2 – Восточный; 3 – Юго-Восточный (Присурский); 4 – Южный; 5 – Мокша-Вадский; 6 – Исса-Сивинско-Руднинский (6а – Исса-Сивинский; 6б – Сивинско-Руднинский); 7 – Меня-Пьянский; 8 – Мокшинский; 9 – Вадский; 10 – Приалатырский; 11 – Сурский

Отдельные результаты геоэкологического анализа ПСПС нами были опубликованы в книгах «Физико-географические условия и ландшафты Мордовии» [Ямашкин, 1998], «Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения» [1999], «Мордовский национальный парк «Смольный»» [2000], «Геоэкология населенных пунктов Республики Мордовия» [2001], «Геоэкологический анализ процесса хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии» [Ямашкин, 2001], «Культурный ландшафт города Саранска (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование)» [2002], «Культурный ландшафт Мордовии (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование)» [2003] и др. Проведенные исследования показали, что приоритетные геоэкологические проблемы развития ПСПС Мордовии связаны с активизацией геолого-геоморфологических процессов, локальным загрязнением окружающей среды и истощением ресурсов питьевой воды, что вызывает ухудшение качества жизни населения (табл. 37).

## Характеристика геоэкологических районов

Геоэкологический район	Крупные населенные пункты	Геоэкологическая характеристика
1	2	3
Ландшафты широколиственных лесов и лесостепей эрозионно-денудационных равнин		
Инсарский	Саранск, Рузаевка, Ромоданово, Кемля, Лямбиров, Кочкурово	Геокомплексы относительно устойчивые, локальное развитие оползневых и эрозионных процессов. Повышенное содержание в артезианской воде железа и фтора. ИЗВ Инсара изменяется от 2 до 6. Ухудшение качества подземных и поверхностных вод. Локальные критические ситуации по загрязнению атмосферы и почвенного покрова на территории Саранска и Рузаевки. Уровень здоровья населения в Саранске низкий (индекс здоровья менее 40 %), Ичалковском, Кочкуровском, Лямбирском районах, МО Рузаевка – пониженный (индекс здоровья 50 % и менее), в Ромодановском – удовлетворительный (индекс здоровья более 50 %)
Восточный	Ардатов, Атяшево, Комсомольский, Чамзинка	Геокомплексы относительно устойчивые, локальное развитие эрозионных и оползневых процессов. Повышенное содержание в артезианских водах железа и фтора. Основные ресурсы поверхностных вод сосредоточены в р. Алатырь. Величина ИЗВ Алатыря от 2 до 6. Слабая обеспеченность ресурсами поверхностных вод в поселках Чамзинка, Комсомольский, Атяшево. Ухудшение качества подземных и поверхностных вод. Локальные критические ситуации по загрязнению атмосферы и почвенного покрова на территории поселков Чамзинка и Комсомольский. Уровень здоровья населения в Атяшевском и Чамзинском районах пониженный, в Ардатовском – удовлетворительный
Юго-Восточный (Присурский)	Большие Березники, Дубенки	Геокомплексы относительно устойчивые. Активная эрозия в агроландшафтах. Отклонение от нормативов по качеству артезианских вод: железо, сульфаты, хлориты, жесткость, сухой остаток. ИЗВ Суры изменяется от 3 до 6. Тенденция к обострению проблем водоснабжения. Уровень здоровья населения в Большеберезниковском районе пониженный, в Дубенском – удовлетворительный
Ландшафты широколиственных лесов и лесостепей вторичных моренных равнин		
Южный	Инсар	Геокомплексы относительно устойчивые. Локальная активизация эрозионных и оползневых процессов. Повышенное содержание в артезианских водах фтора. ИЗВ Иссы 1,5 – 3. Уровень здоровья населения пониженный
Мокша-Вадский	Торбеево, Атюрьево	Геокомплексы относительно устойчивые. Активные эрозионные и оползневые процессы на склонах, прилегающих к долине Мокши. Развитие суффозии в лугово-степных комплексах. Повышенное содержание в артезианских водах фтора. Слабая обеспеченность ресурсами поверхностных вод. Уровень здоровья населения в Атюрьевском районе пониженный, в Торбеевском – удовлетворительный

Продолжение таблицы 37

1	2	3
Исса-Сивинско-Руднинский	Кадошкино, Старое Шайгово	Геокомплексы относительно устойчивые. Отклонение от нормативов по качеству артезианских вод: фтор, повышенная жесткость. Слабая обеспеченность поверхностными водами в р. п. Кадошкино. Уровень здоровья населения в Кадошкинском районе пониженный, в Старошайговском – удовлетворительный
Меня-Пьянский	Большое Игнатово	Геокомплексы относительно устойчивые. Локальное развитие эрозионных и оползневых процессов. Повышенная жесткость артезианских вод. Уровень здоровья населения удовлетворительный.
<b>Ландшафты смешанных лесов водно-ледниковых равнин и долин рек</b>		
Мокшинский	Ковылкино, Краснослободск, Темников, Ельники, Теньгушево	Геокомплексы относительно неустойчивые из-за активизации оползневых процессов на коренных склонах долины Мокши и карстовых – на Мокша-Алатырском междуречье. Размещение промышленных предприятий ограничивается слабой защищенностью подземных вод от загрязнения. Повышенное содержание в артезианских водах фтора в Ковылкине и повышенная жесткость воды в Теньгушеве. ИЗВ Мокши от 2 до 5. Высокая плотность особо охраняемых природных территорий. Места обитания редких видов животных, птиц и растений. Уровень здоровья населения в Ельниковском и Ковылкинском районах пониженный, в Краснослободском, Темниковском, Теньгушевском – удовлетворительный
Привадский	Зубова Поляна	Геокомплексы относительно неустойчивые. Возможно развитие суффозионных процессов. Повышенное содержание в артезианских водах фтора. Величина ИЗВ р. Вад от 3 до 4. Высокая плотность особо охраняемых территорий. Места обитания редких видов животных, птиц и растений. Уровень здоровья населения удовлетворительный
Сурский	–	Геокомплексы относительно неустойчивые. Возможно развитие суффозионных процессов. Отклонение от нормативов по качеству артезианских вод: железо, сульфаты, хлориты, повышенные жесткость, сухой остаток; прогрессирующее ухудшение качества вод. Величина ИЗВ р. Суры от 3 до 5. Высокая плотность ООПТ. Места обитания редких видов животных, птиц и растений
Приалатырский	–	Геокомплексы относительно неустойчивые. Возможно развитие суффозионных процессов. Отклонение от нормативов по качеству артезианских вод: железо, фтор, жесткость, сухой остаток; прогрессирующее ухудшение качества вод. Высокая плотность особо охраняемых природных территорий. Места обитания редких видов животных, птиц и растений

Выделенные геоэкологические районы по остроте проявления экологических проблем и лимитирующим факторам социально-экономического развития могут быть объединены в четыре группы: 1) развитие региональных и локальных критических ситуаций; 2) развитие локальных критических ситуаций; 3) развитие локальных напряженных геоэкологических ситуаций; 4) проявление локальных конфликтных геоэкологических ситуаций. Решение геоэкологических проблем сопряжено с проведением определенного комплекса природоохранных мероприятий (табл. 38).

**Острота проявления геоэкологических проблем и мероприятия по оптимизации функционирования природно-социально-производственных систем**

Геоэкологические районы	Острота проявления геоэкологических проблем	Лимитирующие геоэкологические факторы	Основные мероприятия по решению геоэкологических проблем
Инсарский, Восточный	Развитие региональных и локальных критических ситуаций	Истощение ресурсов питьевой воды, загрязнение ландшафтов продуктами техногенеза. Ухудшающееся состояние окружающей среды проявляется в заболеваемости населения	Освоение дополнительных источников для питьевого и промышленного водоснабжения. Усиление контроля за технологическими процессами, сопровождающимися выбросами цинка, свинца, серебра, олова, меди, молибдена, бария, никеля; сокращение интенсивности транспортных потоков через города; санирование техногенных аномалий; формирование зон санитарной охраны
Присурский, Южный	Развитие локальных критических ситуаций	Значительная пораженность почв эрозионными процессами, повышенное содержание фтора, железа в подземных водах	Обустройство высокодебитных родников, строительство одиночных скважин или групп скважин, ориентированных на нижнесызранско-верхнемеловой водоносный комплекс. Оптимизация ландшафтов путем создания лесолугово-пашенных комплексов, которые создадут условия для возобновления ресурсов подземных вод и ограничат развитие эрозионных процессов
Мокша-Вадский, Исса-Сивинско-Руднинский, Меня-Пьянский	Развитие локальных напряженных геоэкологических ситуаций	Повышенное содержание фтора и железа в подземных водах; активизация эрозионных процессов	Создание систем очистки питьевой воды. Формирование республиканских и районных зон экологического равновесия на участках активного проявления эрозионных процессов.
Мокшинский, Сурский, Приалатырский, Привадский	Проявление локальных конфликтных геоэкологических ситуаций	Ландшафты выполняют важные средо- и ресурсо-воспроизводящие функции	Формирование региональных и республиканских зон экологического равновесия. Создание системы особо охраняемых природных территорий

Стабилизация геоэкологического развития природно-социально-производственных систем предполагает решение следующих взаимосвязанных задач:

- совершенствование нормативно-правовой основы рационального природопользования и социальной защиты населения от воздействия неблагоприятных природных и техногенных экологических факторов;
- геоэкологическое обоснование проектных решений в градостроительной документации районных центров и других крупных населенных пунктов;
- внедрение прогрессивных технологий по модернизации морально и физически устаревших производств, внедрение высокоэффективных методов обезвреживания сточных вод, выбросов в атмосферу, технологий хранения, утилизации и переработки отходов;
- формирование экологического каркаса региона и оптимизация сохранения и восстановления природных ресурсов;
- разработка методов и оптимизация системного регионального мониторинга состояния здоровья населения и среды его обитания;
- экологическое воспитание и образование.

**Совершенствование нормативно-правовой основы рационального природопользования и социальной защиты населения от воздействия неблагоприятных природных и техногенных экологических факторов.** Нормативно-правовое обеспечение экологически безопасного развития региона предполагает:

- разработку и введение подзаконных актов и нормативных регламентирующих документов, обеспечивающих оценку всех видов деятельности человека, направленных на повышение заинтересованности природопользователей в сохранении и улучшении состояния окружающей среды, их ответственности за экологические нарушения, социальную защиту населения;
- разработку и внедрение законодательных природоохранных актов, обеспечивающих основные права и обязанности человека;
- разработку пакета нормативных документов о правовом регулировании земельных отношений, оценку ущерба вследствие порчи, ухудшения, деградации и загрязнения почв и земель;
- разработку и внедрение проектов межрегиональных соглашений по использованию трансграничных природных ресурсов и ответственности за трансграничные экологические нарушения.

**Геоэкологическое обоснование проектных решений в градостроительной документации районных центров и других крупных населенных пунктах.** Новое строительство, расширение, реконструкция и техническое перевооружение предприятий, зданий и сооружений предполагают оценку современного состояния и прогноз возможных изменений природной среды под влиянием антропогенной нагрузки с целью предотвращения, минимизации или ликвидации вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий. В настоящее время на территории Мордовии проведены корректировки генеральных планов только четырех населенных пунктов: городов Саранск и Краснослободск, поселков Зубова Поляна и Торбеево.

**Внедрение прогрессивных технологий по модернизации морально и физически устаревших производств, внедрение высокоэффективных методов обезвреживания сточных вод, выбросов в атмосферу, технологий хранения, утилизации и переработки отходов.**

Улучшение экологической обстановки, санитарно-гигиенических условий жизнедеятельности и состояния здоровья населения предполагает в первую очередь модернизацию режима функционирования *жилищно-коммунального комплекса*, в котором необходимо проведение мероприятий по следующим направлениям:

- совершенствование систем водоподготовки и очистки от вредных примесей питьевой воды с применением высокоэффективных стационарных и передвижных модулей и учетом региональных особенностей состава используемых подземных и поверхностных вод;
- создание, реконструирование канализационных систем и внедрение прогрессивных технологий в системах очистных сооружений;
- внедрение рациональных систем ливневой канализации с учетом структуры и устойчивости геологической среды, динамики грунтовых и поверхностных вод;
- уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух малыми и средними котельными в результате их перевода на газообразное топливо;
- внедрение локальных систем теплоснабжения жилых домов и общественных зданий на основе зарубежных аналогов с освоением их производства на заводах Республики Мордовия;
- рационализация сбора, хранения и переработки бытовых отходов;
- предоставление населению садово-огородных участков в экологически чистых районах;
- внедрение нетрадиционных источников получения энергии.

В *промышленном комплексе* снижение техногенной нагрузки предприятий на окружающую среду может быть обеспечено при решении следующих задач:

- внедрение современного оборудования, технологий и локальных методов очистки, обеспечивающих снижение выбросов и сбросов, внедрение замкнутого цикла водообеспечения, интенсификация действующих биоочистных сооружений;
- реконструкция производств и обеспечение снижения выбросов и сбросов в окружающую среду, увеличение объемов замкнутого водоснабжения производственных линий;
- создание экологически безопасных производств и оборудования;
- комплексное использование полезных ископаемых;
- рекультивация почв.

В *энергетическом комплексе* целесообразно предусмотреть проведение следующих мероприятий:

- внедрение энергосберегающих технологий;

- перевод котлоагрегатов с угля на природный газ;
- использование новейших разработок для ионизации примесей в отходящих газах с целью их эффективного улавливания.

В целях изменения сложившейся ситуации в **утилизации и переработке отходов** необходимо проведение работ по следующим основным направлениям:

- проведение комплекса организационных и нормативно-правовых мероприятий, обеспечивающих управление движением отходов и их безопасное хранение;
- обеспечение контроля за загрязнением окружающей среды в районах действующих полигонов хранения твердых промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов;
- создание полигонов хранения твердых бытовых отходов, отвечающих санитарным и природоохранным требованиям и требованиям мусороперерабатывающих заводов;
- строительство полигонов хранения токсичных промышленных и сельскохозяйственных отходов, удобрений и ядохимикатов;
- разработка и внедрение технологий по переработке твердых отходов в экологически безопасную продукцию.

Приоритетным направлением в развитии **транспортного хозяйства** является проведение профилактических мероприятий, обеспечивающих снижение загрязнения атмосферы городских районов выбросами от автотранспорта. В число этих мероприятий входят:

- создание ремонтно-профилактической сети обеспечения автомобильного парка новейшим оборудованием;
- организация системы мониторинга автотранспортных городских магистралей и регулировка транспортных потоков при превышении загрязнения воздуха сверх установленных норм;
- создание пунктов оперативной регулировки автотранспортных средств;
- строительство объездных дорог для транзитного автотранспорта;
- создание вдоль основных магистралей защитных зеленых зон.

Геоэкологическое развитие **агропромышленного комплекса** предполагает решение следующих блоков задач:

- реализация мероприятий по рациональному землепользованию в условиях сложившейся экологической обстановки;
- организация полевых наблюдений и экспериментальных исследований с целью осуществления мониторинга земель, инвентаризации загрязненных, деградированных и нарушенных земель, разработка и реализация технологий восстановления земель;
- стимулирование специалистов сельского хозяйства и смежных с ним отраслей в аспекте внедрения новых технологий, уменьшения потерь при уборке урожая, его транспортировке, переработке и хранении;
- создание складских помещений для хранения минеральных удобрений и ядохимикатов;

- разработка мероприятий по оптимизации использования эродированных земель;
- разработка и внедрение технологий производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

**Формирование экологического каркаса региона и оптимизация сохранения и восстановления природных ресурсов.** Пространственная структура экологического каркаса определяется двумя группами факторов: природными и социально-экономическими. Формирование функциональных зон в структуре каркаса носит исторический характер. Это проявляется в изменении селитебной освоенности, динамике лесистости, распространении населенных пунктов разной величины и др. Зоны различаются по проявлению и интенсивности развития неблагоприятных процессов плоскостной и линейной эрозии, загрязненности природных компонентов, истощении природных ресурсов. В связи с этим необходима интеграция основных направлений геоэкологических исследований: изучение ландшафтов, эволюции производственно-территориальных систем и экологических процессов. Разработка модели структуры экологического каркаса предусматривает:

- моделирование структуры и закономерностей функционирования типичных ландшафтов Мордовии для сохранения и восстановления биологического разнообразия;
- выявление геоэкологических ограничений развития народно-хозяйственного комплекса, обусловленных литогенной основой ландшафтов;
- анализ и оценка ресурсов питьевых вод как лимитирующего фактора хозяйственного освоения территории Мордовии;
- создание научных основ управления природными ресурсами.

Система экологического каркаса призвана обеспечить возобновление водных ресурсов, стабилизацию геолого-геоморфологических процессов, сохранение биологического разнообразия.

**Разработка методов и оптимизация системного регионального мониторинга состояния здоровья населения и среды его обитания.** Система регионального мониторинга создается на основе государственной системы мониторинга состояния атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительного покрова, животного мира, особо охраняемых территорий, за изменением ландшафтов и состоянием здоровья населения.

Оптимизацию мониторинга состояния окружающей среды, природных ресурсов и здоровья населения предусматривается обеспечить за счет создания комплексной системы регионального мониторинга в реальном и ретроспективном масштабе времени. Это позволит:

- реализовать оперативный контроль за состоянием окружающей среды и здоровья населения для своевременного принятия необходимых мер административно-правового характера;
- создать информационные основы для выявления долгосрочных пространственно-временных закономерностей функционирования окружающей

среды геотехнических систем для разработки прогнозов их развития и подготовки предложений по совершенствованию природоохранительного законодательства и законодательства в области здравоохранения;

- обеспечить население объективной информацией о региональных факторах, негативно влияющих на здоровье, исключить потребление экологически опасных продуктов питания. Для этого необходимо создать эффективную систему сертификации всех продуктов питания и пищевого сырья и соответствующие системы контроля.

**Экологическое воспитание и образование.** Важнейшим направлением решения экологических проблем является совершенствование системы непрерывного экологического обучения от начального до высшего образования, обеспечение целенаправленной подготовки специалистов в области экологии. В этой связи актуальны следующие виды работ:

- разработка и внедрение экологических учебных и образовательных программ в средних и высших учебных заведениях;
- обеспечение населения информацией об экологической ситуации на территории Республики Мордовия и рекомендациями по поведению и жизнедеятельности в сложных экологических условиях.

Базой для развертывания работ по этим направлениям является комплекс научных организаций и учебных заведений республики. Выполнение конкретных работ по направлениям должно проводиться временными научными коллективами, сформированными на конкурсной основе.

Проведенный геоэкологический анализ территории Мордовии показал наличие определенного спектра экологических проблем, решение которых является важным условием устойчивого эколого-социально-экономического развития республики. В то же время специфика и локальный характер проявления экологических проблем показывают, что в Мордовии имеются значительные ресурсы для производства экологически чистой продукции, развития рекреации и туризма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Основной задачей геоэкологии является изучение взаимодействия природных территориальных комплексов и территориально-хозяйственных систем в их историческом развитии на разных уровнях организации – локальном, региональном, глобальном. В качестве основных объектов на локальном уровне должны выступать отдельные геотехнические системы или их элементы (строения, населенные пункты, промышленные предприятия, водохранилища, мелиоративные комплексы и др.). На региональном уровне геоэкологические исследования направлены в основном на анализ взаимодействия геотехнических систем, выделение проблемных геоэкологических ситуаций значительных территорий для координации деятельности по оптимизации природопользования в крупных природных, административно-территориальных регионах (республиках, областях, краях) или производственных комплексах. Геоэкологическое исследование на глобальном (межрегиональном) уровне предполагает изучение и картографирование трансграничных переносов продуктов техногенеза, оценку крупных проблем охраны окружающей среды.

Базовой теоретической основой исследования геоэкологического состояния ПСПС являются отраслевые направления современного ландшафтоведения – структурно-генетическое, функционально-динамическое, геофизическое, геохимическое, историческое, антропогенное, эстетическое (пейзажное) и прикладное. На основе комплексного ландшафтоведения в контакте с другими географическими науками, экологией и информатикой в конце XX в. сформировались предпосылки для развития интегрального научного направления – геоэкологического, изучающего вопросы пространственной организации ПСПС и оценки устойчивости их функционирования для целей планирования культурных ландшафтов. В совокупности современное ландшафтоведение представляет для геоэкологических исследований значительный арсенал методов, позволяющих с достаточной полнотой раскрыть особенности пространственно-временной организации ПСПС и их состояния.

Анализ развития системных представлений в ландшафтоведении и геоэкологии показывает, что для исследования ПСПС весьма продуктивным является использование методологии построения систем различных эпистемологических уровней [Клир, 1990], которая позволяет последовательно и семантически исследовать структуру сложных геоэкологических объектов. В отличие от постулируемых представлений о связях при системном подходе величина и характер отношений заранее не определяются, а являются предметом исследования. Изучение сложных объектов на основе последовательного построения и анализа систем различного уровня познания позволяет на каждом этапе исследований использовать хорошо обоснованные правила действий. Выделяются следующие уровни систем: исходные, системы данных, порождающие системы, структурированные системы, метасистемы. Данная методология позволяет построить и исследовать систему любого уровня сложности.

Эффективное исследование структуры сложных объектов (ПТК и ПСПС) предполагает активное использование статистических методов анализа данных как дискретного, так и континуального (непрерывного) характера: информационного анализа, непараметрических методов анализа связей, многомерного шкалирования, факторного анализа, кластер-анализа, дисперсионного, дискриминантного, регрессионного методов. Круг решаемых геоэкологических задач может быть существенно расширен на основе применения непараметрических методов статистики (в первую очередь многомерного неметрического шкалирования), позволяющих осуществлять анализ систем, при отображении которых использовались как качественные, так и количественные характеристики.

В целом последовательный системный анализ ПСПС позволяет не только решить традиционные задачи оценки, классификации и построения карт, но и определить размерность пространства, физический смысл базовых факторов, построить статистические модели, описывающие поведение в пространстве каждого компонента, выявить их равновесные и неравновесные отношения и описать их размещение по территории. Получаемая общая факторная модель ПСПС с высокой надежностью определяет важнейшие особенности пространственной структуры компонентов и свойств, непосредственно не включенных в анализ, что создает базовую основу дальнейшего развития геоэкологических исследований.

Интеграцию данных об особенностях природы, населения и хозяйства региона, результатов мониторинга состояния геосистем целесообразно осуществлять на базе региональных геоинформационных систем. Для решения научных и прикладных геоэкологических задач в области оптимизации природопользования для нашей республики создана региональная ГИС «Мордовия». Разработан ряд новых алгоритмов и программных модулей, позволяющих проводить комплексное моделирование состояния ПСПС. Опыт создания и ведения региональной ГИС показывает, что эффективно эта работа может быть налажена только при условии наличия результатов сплошного тематического картографирования территории, систематизированных в сериях электронных карт. В качестве базового слоя региональной ГИС целесообразно использовать электронную ландшафтную карту, содержащую синтетическую информацию о закономерностях природной дифференциации территории, особенностях истории формирования культурных ландшафтов и развитии многообразных геоэкологических процессов. В зависимости от целей исследования она может тематически обогащаться содержанием специальных баз данных, трансформируясь в серии прикладных геоэкологических карт (геоэкологического потенциала, техногенного изменения ландшафтов, регламентации хозяйственной деятельности и др.). В совокупности программные модули, базы данных и электронные карты обеспечивают формирование информационного портрета региона.

Региональный и локальный геоэкологический анализ ПСПС Республики Мордовия выявил наличие трех основных проблем.

1. Истощение под влиянием интенсивного отбора ресурсов подземных вод каменноугольно-пермского водоносного горизонта. Этот процесс сопро-

вождается снижением уровня подземных вод и ухудшением их качества, то есть увеличением минерализации, повышением общей жесткости и увеличением содержания фтора и железа.

2. Значительное техногенное воздействие на геосистемы через атмосферу. Высокие концентрации в снеговой пыли и почвах свинца, цинка, меди и других тяжелых металлов свидетельствуют о том, что основным источником загрязнения является автотранспорт, однако значительна доля и стационарных источников.

3. Вероятность развития чрезвычайных и катастрофических геоэкологических ситуаций, связанных с развитием геологической среды в условиях техногенеза.

Синтез информации о состоянии ПСПС республики позволил осуществить геоэкологическое районирование региона, оценить остроту проявления экологических проблем. Их решение имеет трудноизмеримый в денежном выражении экономический эффект. Вместе с тем игнорирование этих проблем в процессе дальнейшего социально-экономического развития Республики Мордовия может вызвать развитие необратимых процессов загрязнения окружающей среды, истощения ресурсов питьевой воды, уменьшения биологического разнообразия и главное – ухудшения здоровья населения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

---

**Абишев М. Н.** Информационно-картографический подход к анализу связей природных явлений (на примере гидротермических показателей, растительности и почв равнинного Казахстана) / М. Н. Абишев // Количественные методы изучения природы. М., 1975. С.131 – 146. (Вопр. географии; Сб. 98).

**Авессаломова И. А.** Геохимические показатели при изучении ландшафтов / И. А. Авессаломова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 106 с.

**Айвазян С. А.** Прикладная статистика: классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1989. 608 с.

**Акимова Т. А.** Основы экоразвития / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. М.: Изд-во Рос. экон. акад. им. Г. В. Плеханова, 1994. 312 с.

**Алексеев В. А.** Геохимия ландшафта и окружающая среда / В. А. Алексеев. М.: Недра, 1990. 142 с.

**Алексеев В. А.** Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / В. А. Алексеев. М.: Логос, 2000. 354 с.

**Алексеев В. А.** Экологическая геохимия / В. А. Алексеев. М.: Логос, 2000. 627 с.

**Арманд А. Д.** Информационные модели природных комплексов / А. Д. Арманд. М.: Наука, 1975. 126 с.

**Арманд А. Д.** Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А. Д. Арманд. М.: Наука, 1988. 259 с.

**Арманд Д. Л.** Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. М.: Мысль, 1975. 287 с.

**Бедный М. С.** Демографические процессы и прогнозы здоровья населения / М. С. Бедный. М.: Статистика. 1972. 303 с.

**Берлянт А. М.** Геоинформационное картографирование в экологических исследованиях / А. М. Берлянт // Геоэкоинформатика: Сб. статей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. С. 38 – 49.

**Берлянт А. М.** Географические информационные системы в науках о Земле / А. М. Берлянт // Соросовский образоват. журн. 1999. № 5 (42). С. 66 – 73.

**Берлянт А. М.** Образ пространства: карта и информация / А. М. Берлянт. М.: Мысль. 1986. 240 с.

**Боровиков В. П.** Популярное введение в программу Statistica / В. П. Боровиков. М.: Филинь, 1998. 267 с.

**Боровиков В.П.** Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. М.: Филинь, 1988. 608 с.

Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения / А. А. Ямашкин, В. Н. Сафонов, А. М. Шутов и др. Саранск: Б. и., 1999. 188 с.

**Виноградов А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. 1962. № 7. С. 555 – 571.

**Воробейчик Е. Л.** Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафанов. Екатеринбург, 1994. 279 с.

Геоэкология населенных пунктов Республики Мордовия / Науч. ред. и сост. А. А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 240 с.

Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. М.: Изд-во МГУ, 1983. 196 с.

Практикум по почвоведению / Н. Ф. Ганжа, И. П. Гречин, И. С. Кауричев и др. М.: Агропромиздат, 1986. 336 с.

**Глазовская М. А.** Геохимические основы типологии и методика исследований природных ландшафтов / М. А. Глазовская. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 231 с.

**Глазовская М. А.** Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. М.: Высш. шк., 1988. 328 с.

**Глазовская М. А.** Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / М. А. Глазовская. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 102 с.

**Глинский В. В.** Статистический анализ. Учебное пособие / В. В. Глинский, В. Г. Ионин. М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1998. 264 с.

ГОСТ 2621291 Почвы. Определение гидролитической кислоты по методу Капенна в модификации ЦИНАО.

ГОСТ 2621391 Почвы. Методы определения органического вещества.

ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.

ГОСТ 27821-88 Почвы. Сумма поглощенных оснований.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Мордовия в 1999 году. Саранск, 2000. 202 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Мордовия в 2002 году. Саранск, 2003. 170 с.

**Грин А. М.** Геосистема как объект исследования дистанционными методами / А. М. Грин // Современная проблематика дистанционных исследований геосистем. М., 1975. С. 15 – 19.

**Девис Дж. С.** Статистический анализ данных в геологии / Дж. С. Девис. М.: Недра, 1990. 319 с.

**Дьяконов К. Н.** Методические проблемы изучения физико-географической дифференциации / К. Н. Дьяконов // Количественные методы изучения. М., 1975. С. 28 – 51. (Вопр. географии; Сб. 98).

**Дьяконов К. Н.** Геофизика ландшафта. Метод балансов: Учеб.-метод. пособие / К. Н. Дьяконов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 95 с.

**Дьяконов К. Н.** Геофизика ландшафта. Биоэнергетика, модели, проблемы: Учеб.-метод. Пособие / К. Н. Дьяконов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 96 с.

**Дьяконов К. Н.** Современные методы географических исследований / К. Н. Дьяконов, Н. С. Касимов, В. С. Тикунов. М.: Просвещение, 1996. 207 с.

**Дэйвисон М.** Многомерное шкалирование / М. Дейвисон. М.: Финансы и статистика, 1988. 255 с.

**Елпатьевский П. В.** Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах / П. В. Елпатьевский. М.: Наука, 1993. 253 с.

**Жекулин В. С.** Историческая география: предмет и методы / В. С. Жекулин. Л.: Наука, 1982. 224 с.

**Зайцев Г. Н.** Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. М.: Наука, 1984. 424 с.

**Ильиницкий А. П.** Некоторые социально-экономические условия жизни и заболеваемость населения стран Латинской Америки / А. П. Ильиницкий // Советское здравоохранение. 1971. № 4. С. 51 – 54.

**Касимов Н. С.** Эколого-геохимические оценки состояния городов / Н. С. Касимов // Экогеохимия городских ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 20 – 40.

**Кендэлл М.** Статистические выводы и связи / М. Кендэлл, А. Стьюарт. М.: Наука, 1973. 899 с.

**Кирюшин А. В.** Нормативный подход к оценке воздействия природопользователей на окружающую среду Республики Мордовия / А. В. Кирюшин // Экологическая безопасность и социально-экономическое развитие регионов России. Саранск, 1994. С. 15 – 16.

**Кирюшин А. В.** Многомерное отображение структуры региональных геохимических полей (факторный анализ) / А. В. Кирюшин, Ю. Г. Пузаченко, Ю. К. Стульцев, А. А. Ямашкин // Изв. РАН. Сер. геогр. 1996. № 4. С. 24 – 45.

**Кирюшин А. В.** Пространственная изменчивость содержания микроэлементов в снеге на территории Мордовии / А. В. Кирюшин, Ю. Г. Пузаченко, Ю. К. Стульцев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 1. С. 53 – 59.

**Киселев А. Н.** Прогнозное биогеографическое картографирование / А. Н. Киселев. М.: Наука, 1985. 103 с.

**Клир Дж.** Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. М.: Радио и связь, 1990. 540 с.

**Коваленко А. К.** Проблемно-ориентированный географический интерфейс как основа ГИС-приложения в сфере управления территориальным природопользованием в Республике Мордовия / А. К. Коваленко, В. П. Нарезный. // ИнтерКарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: Материалы Международной конференции. Хельсинки – Санкт-Петербург, 28 мая – 1 июля 2002. С. 245 – 250.

**Кочуров Б. И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: Учебное пособие / Б. И. Кочуров. Москва – Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.

**Краскэл Дж. Б.** Многомерное шкалирование и другие методы поиска структуры / Дж. Б. Краскэл // Статистические методы для ЭВМ. М.: Наука, 1986. С. 301 – 348.

**Крауклис А. А.** Проблемы экспериментального ландшафтоведения / А. А. Крауклис. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 232 с.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: 1992.

**Кульбак С.** Теория информации и статистика / С. Кульбак. М.: Наука, 1967. 408 с.

Культурный ландшафт города Саранска (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование / Науч. ред. и сост. А. А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 160 с.

Культурный ландшафт Мордовии (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование / Науч. ред. и сост. А. А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. 204 с.

**Лоули Д.** Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. М.: Мир, 1967. 144 с.

**Лукашев В. К.** Геохимические аспекты охраны окружающей среды / В. К. Лукашев. Минск: Наука и техника, 1987. 133 с.

**Максаковский В. П.** Географическая культура / В. П. Максаковский. М.: ВЛАДОС, 1998. 416 с.

Методика расчета экологической техноёмкости территорий // Проект 2.5.6 ГНТП «Экология России». М.: Минприрода, 1993. 36 с.

Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. М., 1987. 24 с.

Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Главное санитарно-эпидемиол. упр. М. 1990. 17 с.

Методические указания регулирования выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 48 с.

**Михно В. Б.** Ландшафтные основы проектирования мелиоративных систем: Учебное пособие / Под ред. проф. В. И. Федотова / В. Б. Михно, А. И. Добров. Воронеж: Воронеж. гос. пед. ун-т, 2002. 197 с.

Мордовский национальный парк «Смольный» / А. А. Ямашкин, Т. Б. Силаева, Л. Д. Альба и др.; НИИ регионологии при Мордов. ун-те. Саранск, 2000. 88 с.

**Николаев В. А.** Эстетическое восприятие ландшафта / В. А. Николаев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. 1999. № 6. С. 10 – 15.

**Николаев В. А.** Ландшафтоведение / В. А. Николаев. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 94 с.

**Николаев В. А.** Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн: Учеб. пособие / В. А. Николаев. М.: Аспект Пресс, 2003. 176 с.

**Николас Г.** Познание сложного / Г. Николас, И. Пригожин. М.: Мир, 1990. 342 с.

Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: ГН 2.1.7.020–94 (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК №

6229–91). Гигиенические нормативы / Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. М., 1995. 8 с.

Об охране атмосферного воздуха. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96–ФЗ (в ред. от 22.08.2004).

Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7–ФЗ (с изм. от 22.08.2004).

Охрана ландшафтов: Толковый слов. М.: Прогресс, 1982. 272 с.

**Перельман А. И.** Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. М.: Географгиз, 1961. 496 с.

**Перельман А. И.** Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. М.: Высш. шк., 1975. 342 с.

**Перельман А. И.** Геохимия / А. И. Перельман. М.: Высш. шк., 1989. 527 с.

**Перельман А. И.** Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.

**Политова И. Д.** Дисперсионный и корреляционный анализ в экономике / И. Д. Политова. М.: Экономика, 1972. 224 с.

**Полынов Б. Б.** Геохимические ландшафты / Б. Б. Полынов // Географические работы. М., 1952. С. 22 – 34.

**Полынов Б. Б.** Геохимические ландшафты: Избр. тр. / Б. Б. Полынов. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 494 с.

**Поляков Л. Е.** Метод комплексной вероятностной оценки состояния здоровья населения / Л. Е. Поляков, Д. М. Малинский // Сов. здравоохранение. 1971. № 3. С. 7 – 15.

**Преображенский В. С.** Развитие ландшафтоведения в СССР / В. С. Преображенский, В. З. Макаров // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. Сер. Теоретические и общие вопросы географии М., 1988. Т. 6. 200 с.

**Протасова Н. А.** Микроэлементы в ландшафтах Тамбовской области и биогеохимическое районирование ее территории / Н. А. Протасова, И. М. Голубев, Н. И. Коробейников // Почвоведение. 1996. № 12. С. 1459 – 1466.

**Прохоров Б. Б.** Введение в экологию человека: социально-демографический аспект / Б. Б. Прохоров. М.: Из-во МНЭПУ, 1995. 176 с.

**Пузаченко Ю. Г.** Принципы информационного анализа / Ю. Г. Пузаченко // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток, 1976. С. 6–38.

**Пузаченко Ю. Г.** Вопросы моделирования биогеоценотических систем / Ю. Г. Пузаченко // Фитоактинометрические исследования горных лесов. Владивосток, 1977. С. 6 – 29.

**Пузаченко Ю. Г.** Проблемы устойчивости и нормирования / Ю. Г. Пузаченко // Структурно-функциональная организация и устойчивость биологических систем. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1990. С. 122 – 147.

**Пузаченко Ю. Г.** Отображение видовых экологических ниш для сообществ смешанных лесов бассейна р. Хаббард-Брук (Белые горы. Новая Англия, Северная Америка) / Ю. Г. Пузаченко, М. В. Придня, В. Мартин, А. Г. Санковский // Экология. 1996. № 6. С. 403 – 409.

**Пузаченко Ю. Г.** Анализ организации растительного покрова методами ординации / Ю. Г. Пузаченко, А. Г. Санковский // Журн. общ. биол. 1992. Т. 53, № 6. С. 757 – 773.

**Пузаченко Ю. Г.** Структура растительности лесной зоны СССР / Ю. Г. Пузаченко, В. С. Скулкин. М.: Наука, 1981. 274 с.

**Пузаченко Ю. Г.** Методологические основы измерения сложности ландшафта // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 4. С. 30 – 50.

**Пузаченко Ю. Г.** Приложение теории фракталов к изучению структуры ландшафта / Ю. Г. Пузаченко // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997а. № 2. С. 24 – 40.

**Пузаченко Ю. Г.** Генезис разнообразия структуры ландшафта / Ю. Г. Пузаченко // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов: Тез. X ландшафтной конф. / Рос. геогр. о-во. М.; СПб., 1997б. С. 9 – 11.

**Пузаченко Ю. Г.** Измерение параметров структуры ландшафтов по аэрофотоснимку / Ю. Г. Пузаченко, Г. С. Молчанов, Г. М. Олещенко, П. А. Хомский // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов: Тез. X ландшафтной конф. / Рос. геогр. о-во. М.; СПб., 1997. С. 84 – 86.

**Пузаченко Ю. Г.** Методологические основы географического прогноза и охраны среды / Ю. Г. Пузаченко. М.: Изд-во УРАО, 1998. 212 с.

Разработать систему показателей для формирования банка данных по социально-гигиенической паспортизации региона, области, города: (отчет) институт комплексных проблем гигиены и профзаболеваний; Руководитель темы Ю. П. Дощицин. № ГР 01880018663; инв. № 029100399250. Новокузнецк, 1991. 119 с.

Рациональное природопользование и охрана природы в СССР / Под ред. Н. А. Гвоздецкого, Г. С. Самойловой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 208 с.

**Ревич Б. А.** Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б. А. Ревич, Ю. Е. Сает, Р. С. Смирнова. М.: ИМГРЭ, 1982. 22 с.

**Садыков О. Ф.** Экологическое нормирование: проблемы и перспективы // Экология. 1989. № 3. С. 3 – 11.

**Сает Ю. Е.** Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. М.: Недра, 1990. 134 с.

СанПиН 2.2.1.5/2.1.1.567-96 Планировка и застройка населенных мест. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. 64 с.

Социологический словарь / Пер. с англ. под ред. С. А. Ерофеева. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1997. 139 с.

СНиП 10–01–94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения. 01.01.1995.

**Солнцев В. Н.** Системная организация ландшафтов: Проблемы методологии и теория. М.: Мысль, 1981. 239 с.

**Солнцев Н. А.** Природный географический ландшафт и некоторые его общие закономерности / Н. А. Солнцев // Тр. Всесоюз. геогр. съезда. М., 1948. Т. 1. С. 258 – 269.

**Солнцева Н. П.** Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) / Н. П. Солнцева // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 181 – 216.

Социологический словарь / Пер. с англ. под ред. С. А. Ерофеева. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1997. С. 139.

**Сочава В. Б.** Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 319 с.

СП 11–102–97. Инженерно-экологические изыскания для строительства / Госстрой России. М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. 41 с.

**Строганов Н. С.** Биологический аспект проблемы нормы и патологии в водной токсикологии // Теоретические проблемы водной токсикологии. Норма и патология. М., 1983. С. 5 – 21.

**Тикунов В. С.** Классификация в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.

**Тикунов В. С.** Моделирование в картографии: Учеб. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 405 с.

**Тюрин Ю. Н.** Анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. М.: Финансы и статистика. 1995. 384 с.

Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

**Федоров А. Г.** Проведение социально-гигиенического исследования с применением математико-статистических методик / А. Г. Федоров, П. Д. Сподобец // Здравоохранение Рос. Федерации. 1976. № 7. С. 17 – 21.

**Федотов Ю. Д.** Социально-экологическая оценка качества жизни населения региона (на примере Республики Мордовия) / Ю. Д. Федотов. Автореф. дис... канд. соц. наук, Саранск, 2000. 20 с.

Физико-географическое районирование СССР. Характеристика региональных единиц / Под ред. Н. А. Гвоздецкого. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 575 с.

**Фролова М. Ю.** Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов / М. Ю. Фролова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1994. № 2. С. 27 – 33.

**Харвей Д.** Научное объяснение в географии / Д. Харвей. М.: Наука, 1974. 257 с.

**Хартман Г.** Современный факторный анализ / Г. Хартман. М.: Статистика, 1972. 486 с.

**Холлендер М.** Непараметрические методы статистики / М. Холлендер, Д. Вулф. М.: Финансы и статистика, 1983. 518 с.

**Швебс Г. И.** Типы ландшафтных территориальных структур / Г. И. Швебс, П. Г. Шищенко, М. Д. Гродзинский // Физическая география и геоморфология. М., 1986. Вып. 3. С. 110 – 114.

Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.

**Ямашкин А. А.** Физико-географические условия и ландшафты Мордовии: Учеб. пособие / А. А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 156 с.

**Ямашкин А. А.** Геоэкологический анализ процесса хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии / А. А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 232 с.

**Deutsch C. V.** GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide / C. V. Deutsch, A. G. Journel. New York: Oxford University Press, 1992. 340 p.

**Joreskog K. G.** Geologikal factor analysis Elsevier Scientific Publishing Company / K. G. Joreskog, J. E. Klovan, R. A. Reyment/ Amsterdam; Oxford; New York, 1976. 223 p.

**Sokal R. R.** Biometry / R. R. Sokal, F. J. Rohlf. N.Y.: W. H. Freeman and Company, 1981. 859 p.

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Введение (Ямашкин А. А., Кирюшин А. В.).....	3
1. Природно-социально-производственные системы как объект геоэкологических исследований.....	8
1.1. Геоэкологическое районирование (Ямашкин А. А.).....	8
1.2. Интеграция ландшафтных исследований как базовая основа геоэкологической оценки состояния природно-социально-производственных систем (Ямашкин А. А.).....	11
1.3. Системный подход в геоэкологии (Кирюшин А. В.).....	16
1.4. Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных систем (Стульцев Ю. К.)..	33
1.5. Социологические подходы к оценке состояния природно-социально-производственных систем (Федотов Ю. Д.)...	50
2. Региональная геоинформационная система как инструмент исследования природно-социально-производственных систем (Коваленко А. К.).....	61
2.1. Региональные геоинформационные системы.....	61
2.2. Моделирование природно-социально-производственных систем и решение задач геоэкологического районирования территорий .....	75
2.3. Разработка проблемно-ориентированного интерфейса для геоэкологической оценки состояния природно-социально-производственных систем.....	93
3. Структура и содержание баз данных региональной геоинформационной системы «Мордовия» и их использование для геоэкологической оценки состояния природно-социально-производственных систем.....	101
3.1. Природные условия и ресурсы (Ямашкин А. А., Сафонов В. Н., Масляев В.Н., Шутов А. М.).....	101
3.2. Электронная общенаучная ландшафтная карта (Ямашкин А. А.).....	110
3.3. Культурные ландшафты (Ямашкин А. А., Ямашкина М. В.).....	114
3.4. Эколого-геохимическая оценка состояния природно-социально-производственных систем» (Стульцев Ю. К.).....	117
3.5. Природно-социально-производственные системы.....	123
3.5.1. Селитебные природно-социально-производственные системы (Ямашкин А. А., Сафонов В. Н., Стульцев Ю. К., Федотов Ю. Д., Ларина А. В.).....	123
3.5.2. Сельскохозяйственные природно-социально-производственные системы (Ямашкин А. А., Москалева С. А.).....	147
3.5.3. Лесохозяйственные природно-социально-производственные системы (Ямашкин А. А.).....	150

3.5.4.	Промышленные и транспортные природно-социально-производственные системы (Ямашкин А. А., Сафонов В. Н., Стульцев Ю. К., Федотов Ю. Д.).....	151
3.5.5	Гидротехнические системы (Ямашкин А. А., Стульцев Ю. К., Федотов Ю. Д.).....	179
3.5.6.	Горно-технические системы (Ямашкин А. А., Стульцев Ю. К.).....	184
3.5.7.	Рекреационные природно-социально-производственные системы (Ямашкин А. А., Масляев В.Н., Стульцев Ю. К.).....	189
3.6.	Социально-экологическая оценка состояния природно-социально-производственных систем (Федотов Ю. Д., Кустов М. В.).....	199
3.7.	Комплексные геоэкологические карты в региональной ГИС «Мордовия» (Ямашкин А. А.).....	202
4.	Геоэкологическое моделирование региональных природно-социально-производственных систем.....	205
4.1.	Факторная модель структуры ПТК (Кирюшин А. В.).....	205
4.2.	Моделирование нормы концентраций микроэлементов в почвах (Кирюшин А. В.).....	213
4.3.	Экологическая техноёмкость территории (Кирюшин А. В.).....	218
4.4.	Техногенное воздействие на атмосферу (Кирюшин А. В.).....	220
4.5.	Геоэкологическая типология административно-территориальных районов Мордовии (Кирюшин А. В.).....	234
4.6.	Геоэкологическое районирование Республики Мордовия (Ямашкин А. А.).....	237
	Заключение (Ямашкин А. А., Кирюшин А. В.).....	247
	Библиографический список.....	250

Научное издание

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ  
ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

*Печатается в авторской редакции*

*Компьютерная верстка произведена в НПЦ экологических исследований  
Мордовского государственного университета*

Подписано в печать 28.10.04. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. .... Уч.-изд. л. .... Тираж 200 экз. Заказ № ....

Издательство Мордовского университета  
Типография Издательства Мордовского университета  
430000, г. Саранск, ул. Советская, 24