

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 550.4 (476-12)

¹С.Н. Верзунов, verzunov@hotmail.com

²И.В. Брякин, bivas2006@yandex.com

¹Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Киргизско-Российский славянский университет"

²Институт машиноведения и автоматики НАН КР

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время, когда воздействие антропогенного фактора на природу достигло невиданных ранее масштабов, вопросы экологической безопасности и устойчивого развития приобретают особую остроту. Неуклонно возрастающее давление на природные системы, усиливаемое хозяйственной деятельностью населения, активизирует необходимость комплексного мониторинга и тщательного анализа текущего состояния окружающей среды. В этом свете наблюдение за геоэкологическими системами является центральным аспектом для оценки и прогноза изменений, вызванных деятельностью человека и естественными природными процессами. Это не только позволяет отслеживать нынешнее состояние этих систем, но выявить тенденции этих изменений, оценить риски возможных природных и техногенных катастроф. Сложность и значимость этой проблемы требуют применения новейших технологий, в том числе искусственного интеллекта, для анализа обширных данных и разработки эффективных систем мониторинга. В данной работе рассматривается текущее состояние геоэкологического мониторинга, его методики и подходы, а также анализируется влияние человеческой деятельности на разнообразие и устойчивость природных систем. Применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в задачах мониторинга экологического состояния открывает новые возможности для повышения эффективности систем мониторинга. Эти инновации делают их более гибкими, позволяя им адаптироваться к изменениям и обеспечивая получение более точной и актуальной информации, необходимой для своевременного принятия решений. Благодаря этому процесс обработки геоэкологических данных становится не только быстрее, но и качественнее, что в свою очередь способствует формированию эффективных стратегий управления природными ресурсами. Эти подходы направлены на достижение устойчивого развития и снижение вредного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: геоэкологический мониторинг, искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение (МО), экологическая безопасность, устойчивое развитие, геофизический мониторинг, интеллектуальная система мониторинга, анализ данных, прогнозирование экологических процессов, автоматизированные системы контроля, большие данные, обработка сигналов, экологические риски, адаптация к изменениям, сбор и анализ экологических данных, управление природными ресурсами, охрана окружающей среды

Современное состояние геоэкологического мониторинга

«Современное общество стремится постоянно совершенствовать условия для жизни, то есть осваивает новые территории (например, расширяются площади под застройку путем упрочнения свойств естественных горных пород методами силикатизации, уплотнения, трамбовки, создания искусственных насыпей), сооружает здания из стекла и бетона, железобетонные мостовые переходы, магистральные автодороги, трубопроводы и прочее, тем самым нагрузка на геоэкосистему постоянно увеличивается, что может спровоцировать возникновение и развитие техногенных и техногенно-природных опасностей и рисков» [1, 2].

Проблемы экологии и охраны окружающей природной среды в условиях интенсификации промышленного производства стали одними из актуальнейших проблем современности. Увеличение темпов развития современной цивилизации, рост народонаселения Земли, научно-технический прогресс, внедрение новой техники и технологии привели к резкому усилению процессов техногенеза и, как результат, расширению их воздействия на окружающую природную среду [3].

Интенсивное развитие и расширение человеческой деятельности влияет на природные геосистемы, вызывая изменения в их структуре и функционировании. Эти изменения, в свою очередь, могут привести к различным последствиям, включая увеличение частоты и интенсивности природных и техногенных катастроф. Важно отметить, что степень воздействия на геосистемы и их реакция на такое воздействие значительно различаются, что обусловлено их уникальными характеристиками устойчивости и уязвимости.

«Разные типы геосистем, выделяемые на карте, под воздействием инженерно-геологических процессов и гидрометеорологических факторов будут испытывать разную степень нагрузки или разрушения, которая определяется их устойчивостью или уязвимостью. Любая геосистема, несомненно, обладает устойчивостью в определенных пределах. Устойчивость не означает абсолютной стабильности, неподвижности. Напротив, она предполагает колебания вокруг некоторого среднего состояния, т.е. динамическое равновесие. Чем шире естественный, «привычный» диапазон состояний, тем меньше риск подвергнуться необратимой трансформации при аномальных внешних воздействиях, тем меньше его уязвимость» [4]. «С течением времени природная среда в пределах урбанизированных территорий подверглась существенной трансформации и практически стала техноприродной средой, развивающейся в результате взаимодействия инженерных конструкций и коммуникаций, гражданского и промышленного строительства и природных компонентов»[5].

«Геозоологическое изучение территорий, осваиваемых под инженерное строительство, связано с освоением подземного пространства для обеспечения функционирования проектируемого объекта; с освоением площадей под жилую застройку, с решением задач транспортного обслуживания; формированием зон «разгрузки» экологической напряженности в развивающемся городе; реконструкцией исторических центров городов в историко-культурных целях; стремлением к «оздоровлению» среды обитания человека, повышению качества жизни, комфортности жилья» [1].

«Главенствующее место в современной практике оценки уязвимости геосистем занимают экспертные оценки, которые должны быть подтверждены богатым статистическим материалом, а также высокой квалификацией эксперта, что далеко не всегда возможно» [4]. Поэтому объективно назрела необходимость создания полигонов с постоянными пунктами наблюдений изменения состояния геозоологических процессов под влиянием эндогенных, экзогенных и антропогенно-техногенного факторов. Для обеспечения эффективной работы таких систем мониторинга требуется детальная проработка соответствующего комплекса фундаментальных и прикладных проблем, совершенствование геофизических методов исследования и модификации существующих аппаратно-программных средств [4].

Можно отметить, «что обеспечение природно-техногенной безопасности связано прежде всего с необходимостью изучения взаимодействия природных опасностей с объектами риска, которое включает обследование объектов риск-анализа, выявление закономерностей возникновения, развития и трансформации природных опасностей в природных компонентах и сферах деятельности человека, изучение свойств объектов риска, разработку моделей и количественный прогноз последствий, отвечающих природным чрезвычайным ситуациям всех уровней тяжести» [4].

«Кроме того, современный уровень знаний позволяет рассматривать геозоосферу как суперполипараметрическую систему, в структуре которой в процессе длительного эволюционного саморазвития и саморегуляции компоненты живой и неживой природы синтезированы в тесно взаимосвязанное целое – глобальную геозоокомплексную оболочку с долговременно стабильными эозоопараметрами и высокими показателями качества и комфортности для биоты и человека» [4].

В свою очередь, как сказано в работе [6], «объектом исследования геозоологии можно считать геозоосферу, представляющую собой глобальную околоповерхностную геозоокомплексную оболочку Земли, эволюционно сформированную в процессе длительного и

тесного взаимодействия и глубокого взаимопроникновения спектра первичных (литосфера, гидросфера, атмосфера) и вторичных (фитосфера, зоосфера, педосфера) геосфер».

Как сказано в работе [7], «в связи с этим деятельность человека в возрастающих масштабах становится геологическим фактором, многократно усиливающим интенсивность природных процессов. Она может способствовать активизации неблагоприятных инженерно-геологических процессов, уже имеющих развитие на данной территории, или вызвать появление других процессов, ранее здесь не наблюдавшихся». Соотношение геологической среды с соответствующими внешними средами представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Соотношение геологической среды с внешними средами

Сама геологическая среда является сложным объектом, находящимся в термодинамическом равновесии. Равновесие геологической среды может нарушаться вследствие изменения какого-нибудь физического поля – механического, магнитного, электрического и т.д. Изменение внешних условий приводит к нарушению равновесия, и геологическая среда переходит в новое термодинамическое состояние. Переход от одного состояния в другое носит сложный релаксационный характер, зависящий от многих параметров, которые отражают особенности процессов в геологических средах.

Как известно, геоэкологические факторы – это элементы окружающей среды, связанные с геологическими, гидрологическими, атмосферными и биотическими процессами, которые могут в свою очередь оказать влияние на экосистемы.

Во-первых, *геологические факторы*, такие, как, например состояние и строение грунтов и пород. В настоящей работе рассматриваются такие параметры этого фактора, как диэлектрическая проницаемость и проводимость горных пород. Кроме того, это может быть, например, рельеф местности, характеризующийся таким параметром, как высота над уровнем моря в пунктах изучаемой местности.

Во-вторых, *гидрологические факторы*, например, уровень и состав грунтовых и поверхностных вод, что влияет на доступность водных ресурсов или условия строительства. Этот фактор может характеризоваться такими параметрами, как глубина залегания грунтовых вод, уровень воды в водоеме или влажность почвы.

В-третьих, *атмосферные факторы*, такие, как, например загрязнение воздуха, что влияет на здоровье людей, качество почвы, состояние растительности. Этот фактор может характеризоваться таким параметром, как индекс качества воздуха или количество частиц пыли в одном кубическом метре воздуха. Сюда же можно отнести и погодные условия, например, туман, характеризующийся дальностью видимости, которая рассматривается в настоящей работе.

В-четвертых, *биологические факторы*, такие, как, например эпидемия COVID-19, характеризующаяся числом заболевших и выздоровевших человек за какой-то определенный промежуток времени. Или, например, биоразнообразии, характеризующееся количеством видов, обитающих на определенной территории, определяющее устойчивость и возможности восстановления экосистемы.

В-пятых, *антропогенные факторы*. Примером антропогенного фактора может служить развитие инфраструктуры – дорог, зданий, гидротехнических сооружений и электрических сетей. Они могут характеризоваться различными параметрами. В случае электрических сетей это может быть, например, напряженность магнитного поля вблизи линии электропередачи. Наконец, нельзя упускать из вида *космологические факторы*. Такие, как, например, вспышки на Солнце. Как правило, они оказывают опосредованное влияние, потоки заряженных частиц, испускаемых Солнцем, взаимодействуют с магнитным полем Земли и вызывают магнитные бури, которые характеризуются таким параметром, как К-индекс геомагнитной активности, который рассматривается в настоящей работе.

Эти факторы могут взаимодействовать и обуславливать сложные геоэкологические процессы, требующие тщательного изучения и учета при планировании. Например, усиление активности Солнца, вызывает изменение климата, что приводит к миграции животных с их привычных мест обитания. Животные, являющиеся переносчиками многих заболеваний, встречаясь на новых местах обитания с людьми, могут стать инициаторами эпидемии зоонозных болезней. Возникающее при этом взаимодействие природно-технической системы с внешними средами можно интерпретировать с помощью рис. 2.

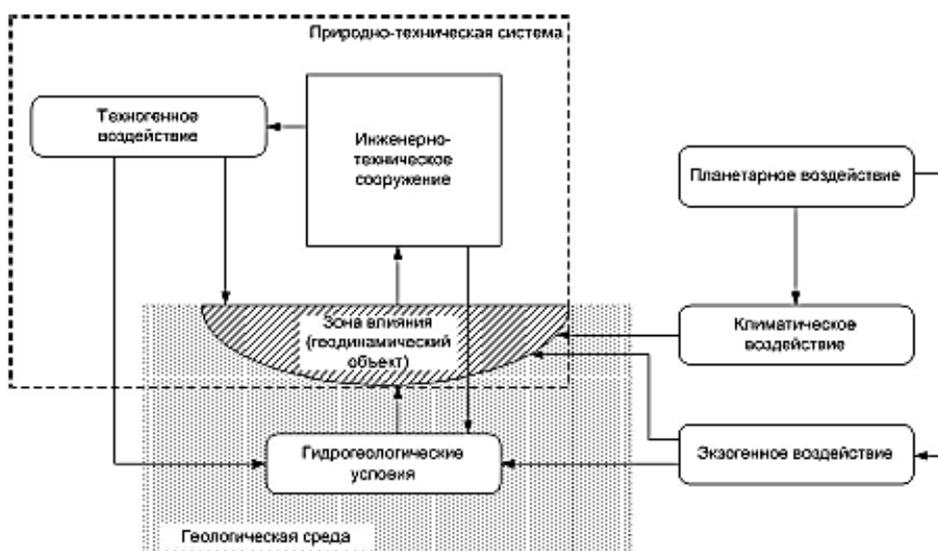


Рисунок 2 – Схема воздействия внешних факторов на природно-техническую систему

Качественная и количественная оценка масштабов негативных процессов, которые могут возникнуть в геоэкофере в результате хозяйственной деятельности, и «их отрицательных последствий позволят выделить главные и наиболее опасные типы, распространенные на конкретной урбанизированной территории. На основе таких данных можно будет определять основные направления природозащитных мероприятий, как средства регулирования изменений геологической среды и предотвращения социально-экономического ущерба при катастрофических явлениях, таких как землетрясения, оползни, обвалы, сели, снежные лавины, подтопление и другие виды» [4].

Под *геоэкологическим мониторингом* понимается систематическое наблюдение, оценка и прогнозирование состояния геоэкологической среды и процессов, происходящих в ней, с целью предотвращения возможного негативного воздействия хозяйственной и другой деятельности человека на природу и обеспечения экологической безопасности. Это комплексная дисциплина, которая включает в себя изучение и анализ состояния почв, грунтов, подземных и поверхностных вод, атмосферы, биосферы и других компонентов геоэкологической среды. Разработка методов мониторинга в нижеперечисленных областях направлена на повышение эффективности наблюдения за состоянием окружающей среды и обеспечение своевременного реагирования на потенциальные угрозы.

Поэтому главными целями «геоэкологического мониторинга являются: *во-первых*, получение, хранение и обработка информации о современном состоянии, свойствах и структуре геологической среды» [8], а также о «типах и интенсивности ее изменений, вызванных в первую очередь процессами техногенеза; *во-вторых*, использование полученной информации для выяснения причин активизации природно-техногенных процессов и составления прогнозов их развития; *в-третьих*, обеспечение информацией о геологической среде» [8] реализуемых мероприятий по охране, рациональному использованию и управлению природной средой.

Геоэкологический мониторинг проводится на различных уровнях: от местного (например, мониторинг состояния отдельного водоема или участка почвы) до глобального (наблюдение за изменениями климата, изучение глобального загрязнения окружающей среды). Для проведения мониторинга используются различные методы и технологии, включая наземные наблюдения, лабораторные анализы, дистанционное зондирование Земли и моделирование экологических процессов.

Известно, что предметом исследований экологических наук о Земле и прежде всего геоэкологии служат закономерные изменения в окружающей среде, происходящие под влиянием естественно-исторических и техногенных процессов, называемых техногенезом и представляющих собой новые геологические процессы, непосредственно связанные с хозяйственной деятельностью человека. Принципиальная модель структуры геоэкологии представлена на рис. 3 [9, 10, 11]. Некоторые из указанных сфер были рассмотрены подробнее ранее в других работах:

1. *В области динамики геологической среды* исследование диэлектрической проницаемости и проводимости грунтов помогает прогнозировать горные обвалы и оползни. Изменения в этих параметрах могут указывать на насыщение грунтов водой, что является одним из предвестников оползневых процессов. Разработка точных и чувствительных методов измерения этих свойств позволяет оценить степень риска и предпринять необходимые меры для предотвращения катастроф. Предложенный в работе [12] метод оптимизации конструктивных параметров повышает скорость разработки микрополосковых антенн, позволяя при этом улучшить такие характеристики, как усиление, направленность, коэффициент обратных потерь.

2. *В области производственной геоэкологии* современные методы мониторинга направлены на обнаружение неисправностей в силовых электрических линиях, таких как частичные разряды, которые могут привести к отказу оборудования и прерыванию электроснабжения. Использование дистанционных и автоматизированных систем сбора и анализа данных позволяет оперативно выявлять и устранять проблемы, повышая надежность и эффективность эксплуатации энергосистемы, в том числе за счет возможности мониторинга состояния индуктивных датчиков [13].

3. *В области динамики воздушной среды* мониторинг состояния воздуха, включая дальность видимости, имеет большое значение для оценки и прогнозирования состояния здоровья населения и безопасности полетов. Разработка передовых методов измерения и анализа данных о состоянии воздуха способствует своевременному принятию мер по организации хозяйственной деятельности и улучшению экологической ситуации. Здесь эффективность достигается за счет предложенных архитектур нейронных сетей, обеспечивающих более высокую точность прогноза или скорость работы [14].

4. *В области медицинской геоэкологии* в условиях эпидемии COVID-19 и других респираторных заболеваний, таких как пневмония и туберкулез, разработка методов мониторинга заболеваний легких приобретает особую актуальность. Использование технологий дистанционного мониторинга, мобильных приложений для самодиагностики и искусственного интеллекта для обработки рентгеновских снимков позволяет оперативно выявлять случаи заболеваний, контролировать их распространение и более эффективно организовывать медицинскую помощь [15].

4. В области космической геоэкологии разработка методов определения геомагнитной активности, изучение её влияния на функционирование технических систем и связи становятся важной задачей для обеспечения безопасности и надежности функционирования космических и наземных технологических систем. Геомагнитные бури могут серьезно повлиять на работу спутников, навигационные системы и даже на здоровье людей. Поэтому разработка эффективных методов мониторинга геомагнитной активности имеет большое значение [16].



Рисунок 3 – Блок-схема структуры геоэкологии

«Существующее состояние контроля в системе геоэкологического мониторинга предполагает необходимость его совершенствования. Основное направление решения этой проблемы – создание автоматизированных систем контроля, мониторинга и управления качеством окружающей среды на основе современных достижений науки и техники» [7].

Для успешного решения существующих геоэкологических проблем требуется разработка соответствующего комплекса современных подсистем цифрового приборного обеспечения, ориентированного на проведение исследований в следующих областях геоэкологии:

1 – экологическое состояние, устойчивость и ландшафтное разнообразие природных и природно-антропогенных геосистем; 2 – загрязнение и деградация природных, природно-антропогенных геосистем, пути и методы их оптимизации; 3 – геоэкологические аспекты рационального использования природных ресурсов; 4 – геоэкологические аспекты медицинской географии и экологии человека; 5 – система организации, принципы и методы мониторинга окружающей среды; 6 – геоэкология городской среды, урбанизированных и рекреационных ландшафтов; 7 – стихийные природные явления, чрезвычайные техногенные ситуации и их геоэкологические последствия; 8 – природные и природно-антропогенные геосистемы различного иерархического уровня как средообразующие и ресурсовоспроизводящие системы [17, 19].

При этом цель геоэкологического мониторинга определяется сведением к минимуму негативных последствий разнообразной эксплуатации природы человеческим обществом и имеет важнейшее значение для создания модели устойчивого социально-экономического развития государства.

«Однако развитие экспериментальной геофизики неразрывно связано с совершенствованием существующего и созданием нового приборно-методического обеспечения в первую очередь для работ в «поле», на инженерных сооружениях и в труднодоступных местах.

Это ставит новые технические требования к системе геофизического мониторинга, разработке комплекса фундаментальных и прикладных проблем, модификации существующих аппаратных средств» [4].

Для более полного описания процессов в геологических средах необходима оперативная и достоверная информация о структуре и состоянии геологической среды, которую, как показала практика, можно получить методами малоглубинных исследований, оснащенных новыми цифровыми измерительными средствами и вычислительными технологиями [4, 5].

На рис. 4 представлена обобщенная блок-схема системы мониторинга геологической среды, на которой показан весь круг задач, требующий соответствующего решения для реализации эффективных малоглубинных исследований: 1 – разработка датчиков на новых физических принципах; 2 – вопросы первичной (обнаружение, фильтрация, усиление) и вторичной (определение фазы, амплитуды, частоты) обработки сигнала, связанные с разработкой аппаратной компоненты измерительных каналов; 3 – первичная обработка данных и идентификация параметров геофизического процесса, предполагающих разработку соответствующих алгоритмов обработки и специализированного программного обеспечения [20].

В последние несколько лет, как в профессиональной литературе, так и в средствах массовой информации, постоянно появляется информация о последних достижениях и улучшениях, которые системы искусственного интеллекта (СИИ) привнесли в широкий спектр областей – от технических и естественных наук до лингвистики и многих других областей. ИИ является одной из ключевых технологий, обеспечивающих четвертую промышленную революцию, наступление которой мы наблюдаем в настоящее время. Применение ИИ уже меняет наш мир и влияет на все аспекты жизни общества, экономику и технический прогресс в целом. Область мониторинга и измерительных процессов – не исключение, и на них уже также повлияло применение СИИ.

Особенности интеллектуального анализа данных геоэкологического мониторинга

Таким образом, системы мониторинга представляют собой комплексные инструменты для наблюдения, оценки и учета изменений в окружающей среде на основе разного рода данных. Они служат нескольким важным целям. Мониторинг состояния окружающей среды позволяет отслеживать качество воды, почвы, воздуха, флору, фауну и другие геоэкологические показатели на определенной территории. Прогнозирование и

предупреждение потенциальных негативных экологических явлений, таких как загрязнение, эрозия почвы, потеря биоразнообразия и изменение климата, являются основной целью геоэкологического мониторинга. А также целями являются поддержка принятия решений путем предоставления ценной информации для государственных органов, исследовательских учреждений и организаций, работающих в области экологии и природопользования. Такие системы помогают контролировать соблюдение экологических стандартов и норм, установленных законодательством.

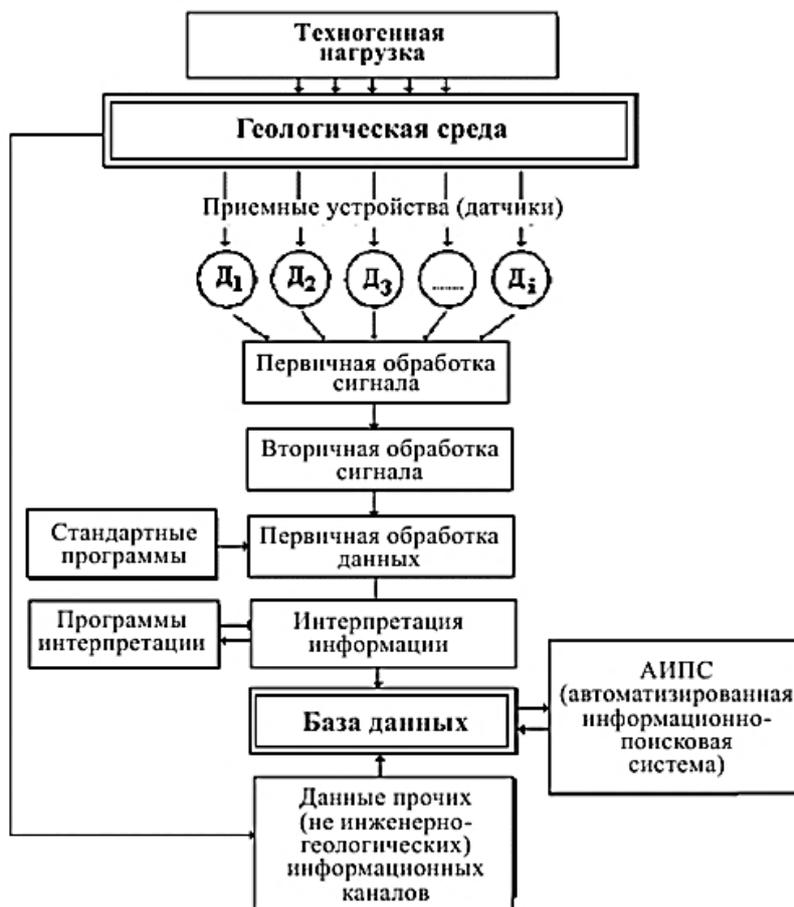


Рисунок 4 – Система мониторинга геологической среды

Мониторинг позволяет оценить влияние человеческой деятельности на окружающую среду, например, последствия промышленной деятельности, сельского хозяйства или урбанизации. Кроме того, системы могут использоваться в образовательных и научных целях, помогая лучше понимать и глубже изучать геоэкологические процессы. Информация, полученная в результате мониторинга, может служить основой для разработки стратегий управления природными ресурсами, например, управления водными ресурсами или ресурсами недр. В условиях пандемии системы мониторинга могут помочь в формировании адаптивных мер и стратегий для смягчения отрицательных последствий. В целом системы геоэкологического мониторинга играют ключевую роль в управлении ресурсами окружающей средой, обеспечивая научно обоснованный подход к сохранению и улучшению качества нашей среды обитания и обеспечения ее устойчивого развития.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в системах мониторинга позволит обрабатывать большие объемы данных значительно быстрее, чем это возможно вручную или с использованием традиционных методов обработки данных. Кроме того, МО может помочь повысить скорость сбора и улучшить анализ данных, что особенно важно для систем геоэкологического мониторинга, где оперативность измерений может

существенно влиять на принимаемые на основе полученных данных решения. ИИ способен обучаться на основе прошлых данных и предсказывать будущие тренды или явления, что может быть крайне полезно для прогнозирования негативных событий и планирования соответствующих мер предупредительного характера. Он способен адаптироваться к изменяющимся условиям, что важно для геоэкологического мониторинга, учитывая динамичность и сложность геоэкологической среды, так как может обеспечить большую устойчивость к ошибкам во входных данных, поскольку может обучаться на ошибках и улучшать свои результаты. Наконец, ИИ может помогать в принятии решений, предоставляя аналитические инструменты и модели, которые помогают улучшить понимание геоэкологических процессов и воздействий на них со стороны человека [20].

Разрабатываемая интеллектуальная система геоэкологического мониторинга должна таким образом являться комплексом технологий и процессов, которые используют ИИ, МО и большие данные для оценки, анализа и прогнозирования состояния геоэкологической среды. Она будет играть важную роль в понимании и прогнозировании геологических процессов, а также в управлении ресурсами и охране окружающей среды.

Для начала рассмотрим некоторые основные компоненты традиционной системы мониторинга геологической среды. Геологическая среда является частью геоэкологической среды, поэтому проблемы геологического мониторинга могут быть в некоторой степени расширены и на область геоэкологии. На рис.4 представлена обобщенная блок-схема системы, на которой показан весь круг задач, требующий соответствующего решения для реализации эффективной работы: 1 – разработка датчиков; 2 – вопросы первичной (обнаружение, фильтрация, усиление) и вторичной (определение фазы, амплитуды, частоты) обработки сигнала, связанные с разработкой аппаратной компоненты измерительных каналов; 3 – первичная обработка данных и идентификация параметров геофизического процесса, предполагающих разработку соответствующих алгоритмов обработки и специализированного программного обеспечения [1].

Цель создания интеллектуальной системы мониторинга геоэкологической среды – обеспечить непрерывное и точное наблюдение за геоэкологическими процессами, а также представить информацию для принятия решений и планирования действий для охраны окружающей среды и управления природными ресурсами за счет комплексного решения вышеперечисленных проблем с применением ИИ и МО.

Основной замысел разработанной концепции для интеллектуальной системы направлен на усовершенствование методов наблюдения и изучения состояния геоэкологии. Это достигается за счет интеграции технологий ИИ и МО в процедуры геоэкологического контроля. Такой подход предполагает существенное повышение уровня автоматизации, а также повышение точности и оперативности работы системы. Внедрение ИИ позволит заменить устаревшие аппаратные компоненты на более современные решения, что станет ключом к более глубокому пониманию и предсказанию геоэкологических изменений. Это, в свою очередь, окажет заметное влияние на принятие обдуманных мер и стратегий в области защиты окружающей среды и управления природопользованием [20].

1.2.1 Методы искусственного интеллекта в системе геоэкологического мониторинга. На сегодняшний день технологии ИИ играют ключевую роль в развитии и совершенствовании систем информационного характера. Вот некоторые из областей, где ИИ находит активное применение.

Прежде всего ИИ значительно повышает точность измерительных процедур. Примером могут служить нейросети и методы машинного обучения, которые находят применение в калибровке измерительных устройств и корректировке ошибок измерений. В последнее время всё больше внимания уделяется созданию умных датчиков. Такие устройства, оснащенные ИИ, способны автономно анализировать получаемые данные и принимать на их основе решения. Они могут мониторить различные аспекты геологической среды – от температуры и давления до влажности и многого другого.

Собираемая датчиками информация отправляется на центральные пункты управления или в облачные хранилища для анализа. Сенсорные сети занимают ключевую позицию в процессе сбора экологических данных. Для охвата больших территорий или доступа к отдаленным локациям используются спутники и дроны. Беспроводные технологии обеспечивают передачу данных от датчиков к основным станциям или в облако, причем в этом контексте находят применение такие решения, как мобильная связь, Wi-Fi и Интернет вещей. Спутниковая связь оказывается незаменимой в условиях, когда другие способы передачи данных недоступны.

Использование интеллектуальных технологий становится все более важным для эффективного распространения и сбора информации, особенно это касается экологического мониторинга. ИИ проникает во многие ключевые сферы, где его роль продолжает укрепляться. Например, интеллектуальные системы улучшают процессы сбора данных и их распространения, помогая выбирать оптимальные пути для передачи информации через сенсорные сети. Кроме того, внедрение ИИ позволяет адаптировать процесс сбора данных под текущие условия, определяя, какая информация и когда должна быть собрана, что особенно важно при ограниченных ресурсах, например, в условиях дефицита энергии или ограниченной пропускной способности сети [20].

ИИ может значительно улучшить функциональность и эффективность хранилищ данных в системах мониторинга геоэкологической среды. Применение ИИ в этой области включает в себя такие области, как управление данными, предиктивный анализ и оптимизация хранения данных. К примеру, ИИ может автоматизировать процесс организации и каталогизации данных в больших хранилищах данных. Это включает в себя сортировку и классификацию данных, тегирование данных с использованием меток, которые могут помочь в быстром и эффективном поиске, а также определение и удаление дубликатов данных, что обеспечивает более эффективное и организованное хранилище данных. Интеллектуальные хранилища данных сочетают в себе традиционные технологии хранилищ данных с технологиями ИИ и МО для обеспечения более гибкого и мощного инструмента для хранения, анализа и получения важной информации из больших объемов данных. К примеру, большой объем данных, находящихся в хранилище, может быть использован для обучения моделей, которые затем могут применяться для предсказания или классификации новых данных. ИИ может быть использован для автоматизации процесса подготовки данных для хранения и анализа. Это может включать в себя обнаружение и устранение аномалий, заполнение пропущенных значений и преобразование данных в формат, пригодный для анализа [20].

Интеллектуальные системы хранения информации применяют технологии искусственного интеллекта для того, чтобы обеспечить более глубокое понимание смысла данных. В рамках этого процесса может быть задействовано машинное обучение для того, чтобы автоматизировать процессы классификации или группировки информации. Также применяются онтологии или семантические сети для того, чтобы наглядно представить взаимосвязи между различными блоками данных [21].

По мере роста объемов информации, требующей обработки и хранения, роль ИИ в анализе данных становится всё более значимой. Это может охватывать применение алгоритмов машинного обучения для исследования больших массивов информации с целью выявления ключевых данных, а также использование ИИ для улучшения процессов хранения и обработки информации. Вклад ИИ и машинного обучения оказывается критически важным для развития методик выявления и анализа геоэкологических процессов, что подчеркивает их значимость в этой сфере. Далее будут рассмотрены некоторые основные методы, применяемые в данном направлении. Во-первых, можно привести метод обучения под наблюдением. Он опирается на анализ предварительно размеченных данных, что позволяет модели выявлять закономерности для классификации или предсказания новой информации. Применительно к мониторингу окружающей среды это может использоваться для

идентификации различных типов горных пород или прогнозирования геоэкологических процессов.

Методика обучения без прямого вмешательства специалиста ориентирована на выявление неявных структур в данных без необходимости предварительного задания критериев. Это особенно ценно для классификации геоэкологических элементов на основе общих признаков или для обнаружения атипичных моделей, указывающих на потенциальные экологические угрозы. Следующий метод, глубинное обучение, относится к категории машинного обучения, где используются сложные многослойные нейросети. Этот подход отличается способностью работать с комплексными данными, такими как спутниковые снимки или климатические последовательности, что крайне важно для изучения геоэкологических процессов. Обучение с подкреплением представляет собой методику, при которой алгоритм совершенствуется, взаимодействуя с окружающей средой и стремясь к улучшению стратегий принятия решений. В контексте мониторинга геоэкологии это может означать разработку оптимальных методик наблюдения за природой или управления природными ресурсами.

Каждая из этих методик имеет свои преимущества и ограничения, и выбор конкретного подхода зависит от специфики задачи и доступности данных. Стоит отметить, что применение ИИ в сфере мониторинга геоэкологии является быстроразвивающимся направлением, ожидающим новых достижений и инноваций. Даже сегодня ИИ и машинное обучение уже играют значительную роль в системах обработки и анализа данных, используемых в мониторинге. Вот ключевые направления использования ИИ в этих системах:

- Определение аномалий с помощью алгоритмов машинного обучения, включая кластерный анализ и нейронные сети, что позволяет выявлять значимые отклонения в наборах данных, указывающих на серьезные изменения или проблемы в окружающей среде.
- Классификация данных по категориям с использованием методов машинного обучения, таких как алгоритмы деревьев решений или метод опорных векторов, позволяющая идентифицировать геоэкологические объекты, включая типы почв или различие между видами горных пород по спутниковым данным.
- Прогностические модели и аналитика, где методы анализа временных рядов и регрессии используются для прогнозирования экологических показателей на основе предыдущих данных, например, изменения температур или уровня загрязнения воздуха. Глубокое обучение также применяется для моделирования сложных природных и антропогенных процессов.
- Совершенствование управленческих стратегий и эффективное использование ресурсов благодаря методам обучения на основе подкрепления, что позволяет оптимизировать подходы к мониторингу и управлению природными ресурсами на основе данных о состоянии среды.

В области геоэкологического мониторинга все упомянутые подходы ИИ – от машинного обучения до глубокого обучения и обучения с подкреплением – могут использоваться совместно для достижения комплексного эффекта. Это позволяет получить более полное и точное представление о геоэкологических явлениях. Например, машинное и глубокое обучение могут быть задействованы для распознавания сложных закономерностей в данных, которые трудно выявить вручную, в то время как обучение с подкреплением может повысить эффективность сбора и анализа данных. Обработка естественного языка помогает в анализе научных текстов и отчетов, а компьютерное зрение – в обработке и интерпретации изображений с датчиков или спутников. Интеграция этих подходов значительно улучшает работу систем мониторинга и качество получаемых результатов.

Выводы. Современная интеллектуальная система для мониторинга геоэкологии представляет собой инновационное решение, предназначенное для наблюдения и управления процессами и состоянием окружающей среды. Это комплексная, иерархически организованная структура, демонстрация которой представлена на рис.5.

Данная система интегрирует передовые разработки в сфере искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), что способствует повышению её эффективности и точности в выполнении задач мониторинга.

В соответствии с системным анализом функциональный обзор системы выделяет следующие ключевые компоненты:

- Умные датчики и устройства для мониторинга, задачей которых является сбор экологических данных. Эти устройства могут включать алгоритмы ИИ для оптимизации сбора данных и повышения качества работы самих датчиков.
- Подсистемы для анализа сигналов, представляющие собой комплексы аппаратуры и программного обеспечения, применяющие ИИ и МО для улучшения обработки и анализа сигналов.
- Базы данных и хранилища, в которых могут быть использованы ИИ-технологии для оптимизации хранения и обработки большого объема данных, обеспечивая быстрый доступ к ним.
- Подсистемы обработки данных, являющиеся «сердцем» системы. Здесь алгоритмы ИИ и МО анализируют собранные данные, выявляют аномалии, определяют тенденции и прогнозируют будущее развитие геоэкологических процессов.

Важно различать понятия «сигнал» и «данные». Хотя они тесно связаны, их значения различны. Сигнал – это физическое явление, переносящее информацию об изменениях в системе или окружающей среде, получаемое от датчиков, измеряющих параметры вроде температуры, давления, влажности и т.д. Данные же представляют собой конкретные значения, фиксируемые сигналом в различные моменты времени, которые затем обрабатываются и анализируются для извлечения полезной информации. Следовательно, сигнал служит переносчиком данных, а данные содержат, собственно, информацию.

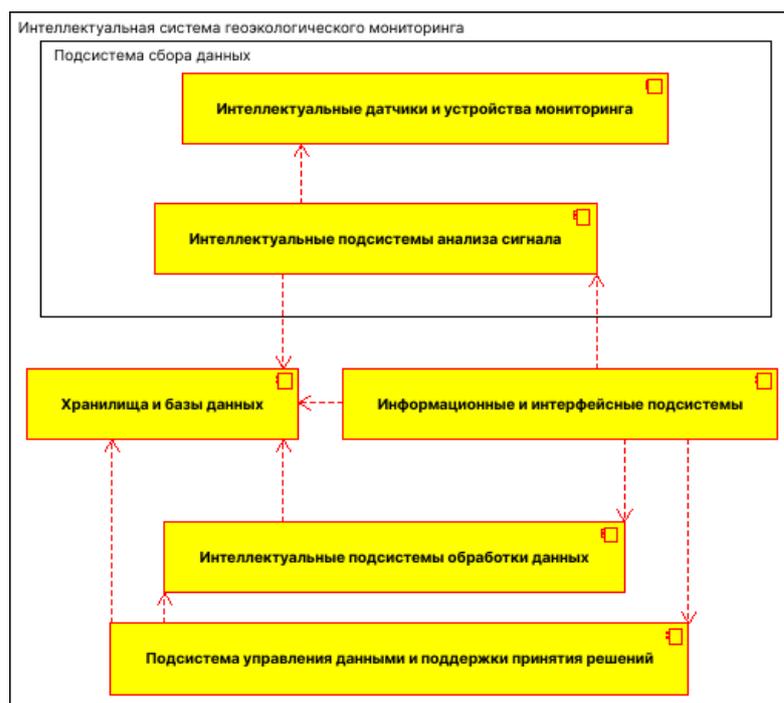


Рисунок 5 – Анализ применения ИИ в системах геоэкологического мониторинга

Рис.5. отображает аналитический взгляд на использование ИИ в системах геоэкологического мониторинга. Кроме того, система дополняется информационно-интерфейсными подсистемами, которые предоставляют пользовательские интерфейсы для визуализации данных и результатов анализа, обеспечивая эффективное взаимодействие всех компонентов мониторинга.

Дополнительно в систему могут быть включены подсистемы управления и поддержки принятия решений, применяющие ИИ и МО для автоматизации оповещений о данных, выходящих за пределы нормы, и оценки рисков на основе анализа данных.

Например, алгоритмы МО могут использоваться для обнаружения аномалий в данных, что может указывать на потенциальные проблемы в геоэкологической среде. А эти системы могут автоматически сгенерировать оповещения при обнаружении таких аномалий, что позволяет быстро принять необходимые меры. В дополнение к этому системы могут использовать модели МО для расчета рисков, связанных с различными геологическими процессами, и предлагать рекомендации для принятия решений. Это может включать предложения по управлению ресурсами, принятию мер по охране окружающей среды или планированию будущих исследований.

Таким образом, такая система, показанная на рис. 6, потенциально должна справиться с различными задачами мониторинга геоэкологической среды, от определения уровня

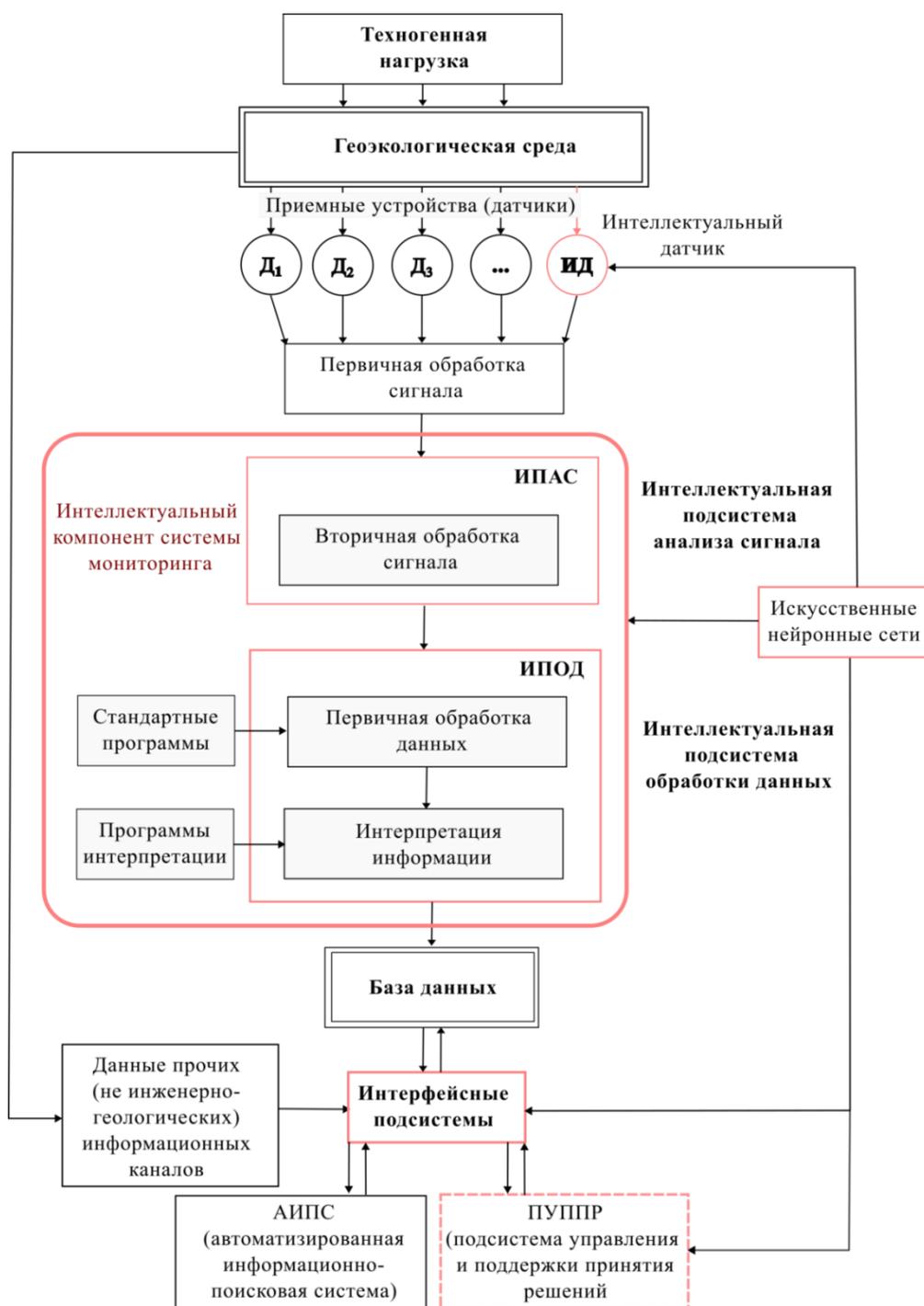


Рисунок 6 – Блок-схема интеллектуальной системы геоэкологического мониторинга

загрязнения воздуха до прогнозирования геоэкологических событий, таких как землетрясения или оползни. При этом структура, конечно, может быть адаптирована или модифицирована в зависимости от конкретных требований и условий применения системы [15]. Нужно подчеркнуть важнейшую роль, которую ИИ играет в современных подходах к мониторингу и управлению геоэкологическими процессами. Использование ИИ в этой области охватывает широкий спектр приложений, начиная от улучшения точности измерений с помощью нейронных сетей и алгоритмов МО, разработки интеллектуальных датчиков для автоматической интерпретации данных, до оптимизации сбора и передачи данных с использованием современных технологий связи.

Системы геоэкологического мониторинга, интегрированные с ИИ, представляют собой многоуровневые, комплексные решения, способные адаптироваться к различным условиям и оптимизировать процессы сбора, передачи, хранения и анализа данных. Применение ИИ позволяет не только повысить точность и эффективность этих процессов, но и обеспечить глубокий анализ больших объемов данных для выявления трендов, прогнозирования будущих событий и оптимизации решений по управлению геоэкологическими ресурсами в таких областях (отмеченных на рис.3), рассматриваемых в настоящей работе, как:

- Разработка методов мониторинга в этих областях направлена на повышение эффективности наблюдения за состоянием окружающей среды и обеспечение своевременного реагирования на потенциальные угрозы. Ключевые методы ИИ, такие как обучение с учителем, обучение без учителя, глубокое обучение и обучение с подкреплением, нашли в работе широкое применение в различных аспектах мониторинга, от классификации данных и обнаружения аномалий до моделирования сложных геоэкологических процессов и оптимизации стратегий мониторинга.
- Развитие и интеграция ИИ в системы геоэкологического мониторинга являются не только ответом на текущие вызовы в управлении окружающей средой, но и путем к достижению более устойчивого развития, в котором технологии помогают лучше понимать и защищать нашу планету. В то время как область применения ИИ в геоэкологическом мониторинге продолжает развиваться, ожидается, что будущие исследования принесут новые возможности для улучшения этих систем, делая их еще более мощными инструментами для наблюдения и защиты окружающей среды.

Литература

1. Мележ, Т. А. Инженерно-геоэкологические показатели и критерии выбора территорий для выявления ограничения их освоения (на примере Республики Беларусь) / Т. А. Мележ, А. А. Мележ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2012. – № 2. – С. 225–228. – EDN PMGCBN.
2. <http://www.brsu.by/sites/default/files/vesnik/seria%205.pdf#5>
3. Манштейн, А.К. Малоглубинная геофизика. / Манштейн А.К.// Новосибирск; Изд-во Новосиб. ун-та, 2002. – С.136.
4. <https://geoenv.ru/conferences/georisk-2012/georisk-2012-vol-1.pdf>
5. <https://www.brsu.by/sites/default/files/vesnik/seria%205.pdf>
6. <https://mybiblioteka.su/10-47924.html>
7. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=63139
8. <http://elcat.pnpu.edu.ua/docs/Ekologicheskiiy.pdf>
9. Жиров А. И. Теоретические основы геоэкологии // Монография. – СПб: СПбГУ, 2001. – 377 с.
10. Климанова О. А. Геоэкологическое страноведение //природные и антропогенные факторы формирования районов. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 304 с.
11. Розанов Л. Л. Геоэкология // М.: Вентана-Граф, 2006. – 320 с.
12. Верзунов, С. Н. Способ оптимизации конструктивных параметров ячеек-резонаторов микрополосковых антенн на основе интеллектуального анализа данных / С. Н. Верзунов // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 3(56). – С. 54-64. – DOI 10.18503/2311-8318-2022-3(56)-54-64. – EDN GBBNJP.
13. Верзунов, С. Н. Система диагностики возникновения частичного разряда в надземных силовых электросетях на основе интеллектуального анализа данных в HF-диапазоне / С. Н. Верзунов, И. В. Бочкарев // Электротехнические системы и комплексы. – 2023. – № 3(60). – С. 4–14. – DOI 10.18503/2311-8318-2023-3(60)-4-14. – EDN SQQBSI.

14. Модели прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек / Н. М. Лыченко, Л. И. Великанова, С. Н. Верзунов, А. В. Сороковая // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 87–95. – EDN IRIZPF.
15. Верзунов, С. Н. Сравнение глубоких нейронных сетей на основе различных предварительно обученных CNN для диагностики COVID-19 по рентгеновским снимкам / С. Н. Верзунов, Х. А. Раимжанов // Проблемы автоматки и управления. – 2021. – № 1(40). – С. 12–25. – EDN RVDXSO.
16. Верзунов, С. Н. Определение К-индекса геомагнитной активности / С. Н. Верзунов // Проблемы автоматки и управления. – 2016. – № 1(30). – С. 47–54. – EDN WMROYZ.
17. Поздеев В. Б. Становление и современное состояние геоэкологии // Смоленск: Маджента, 2004. – 324 с.
18. Давиденко Н. М. Актуальные вопросы геоэкологии // М.: ГЕОС, 2003. – 428 с.
19. Трофимов А. М. Региональный геоэкологический анализ // Казань :Меддок, 2005. – 228 с.
20. Верзунов, С. Н. Концепция интеллектуальной системы геоэкологического мониторинга / С. Н. Верзунов // Проблемы автоматки и управления. – 2023. – № 2(47). – С. 91–108. – EDN ZXUMLR.
21. https://www.hse.ru/data/570/907/1224/Publ9_Kozyrev.pdf