

# **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

А.И. Никонов  
ИПНГ РАН

## **Введение**

Сотрудниками лаборатории экологических проблем нефтегазового комплекса (НГК) ИПНГ РАН в течение трех лет выполнялась работа по теме: «Разработка научно-методических основ системно-информационного картографирования для оценки эколого-геодинамического состояния природных и природно-техногенных объектов нефтегазового комплекса и построение карт эколого-геодинамического риска».

Предлагаемая методика системного картографирования представляет собой алгоритм создания серии тематических карт, отвечающий пространственным закономерностям выделяемых природных и природно-техногенных объектов на основе критериев сопряженности контуров и их изменения в пространстве, а также решения задач информационного обеспечения каждого уровня посредством создания перечня карт, необходимых и достаточных для перехода на следующий уровень решения задач. В основу решения поставленной задачи положен принцип системной картографии. Реализация методики осуществлялась на объектах НГК, в частности на Щелковском подземном хранилище газа.

Разработанный подход к построению карт эколого-геодинамической опасности представляет экспертную систему оценки состояния объектов НГК и природных систем и может быть использован в любых географических информационных технологиях, как государственными контрольными органами, так и недропользователями.

## **1. Трансформация ландшафтных систем на основе геодинамических представлений при земле- и недропользовании**

Структура ландшафта формируется в результате многовековых эндогенных и экзогенных взаимосвязанных природных процессов, которые определяют ее устойчивость, самоорганизацию, поддержание системы биоразнообразия. Чем сложнее структура ландшафта, тем больше в нем заложено механизмов саморегулирования и тем выше его устойчивость к различным внешним воздействиям.

Ключевым признаком геопространства является его организация и упорядоченность. Согласно определению У.И. Мересте и С.Я. Ныммик (1984 г.), геопространство есть совокупность геосистемы и окружающей ее среды.

Организация географических систем заключается в выделении устойчивых структур и в поиске механизмов взаимосвязей разнородных по генезису и темпам изменения геокомпонентов [1, 2]. Под упорядоченностью понимается пространственно-временная иерархия форм геопространства и/или процессов, составляющих целостную взаимосвязанную структуру ландшафта. По мнению К.Г. Раман (1961 г.), ведущую системообразующую роль здесь играет физическая поверхность Земли как универсальный интегрирующий фактор, превращающий происходящие в поле инсоляционных и гравитационных сил вертикальные взаимодействия в определенные территориальные структуры. Таким образом геопространство, согласно [3], рассматривается не только какместилище земных тел и явлений, но и как определенный их образ, а также как структура, формируемая в результате перемещения субстанций.

Локальный уровень организации геопространства в большей степени определяется наличием зон сноса, аккумуляции и устойчивого равновесия, которые зависят от морфоскульптурных элементов рельефа, уклонов поверхности и изменения этих характеристик во времени. Скорость изменения форм рельефа зависит от физико-механических и физико-химических свойств горных пород, а также от формирующихся на них почв и покрывающих их растительных сообществ. Таким образом, в основе динамических преобразований рельефа поверхности лежит механизм перераспределения масс горных пород под действием различных градиентов (силы тяжести, потоки вещества и т.п.), которые определяются степенью расчлененности рельефа – геоморфологическим строением территории.

Развитие капитализации в Российской Федерации значительно ухудшило систему экологического контроля в сфере землепользования и недропользования при освоении территорий НГК. Это, прежде всего, связано с тем, что земли и недра перешли в аренду к землепользователю и недропользователю. Другими словами, появилось множество хозяйствующих субъектов в пределах границ общего пространства как ландшафта (поверхность Земли), так и недр. В связи с этим границы землепользования – природные и техногенно-измененные ландшафты, в пределах которых находятся месторождения УВ

или подземные хранилища газа, – могут включать в себя участки горного отвода или соответствовать им.

Необходимо заметить, что зоны землепользования формируются в областные и городские объекты инфраструктуры с различным характером техногенной нагрузки на ландшафт. Техногенное воздействие при подземной разработке недр (добыча углеводородов и подземных вод) и обустройстве территорий месторождений приводит к деградации природного ландшафта, который становится природно-техногенным или техногенным. Данные изменения значительно ухудшают среду обитания человека.

Одной из главных задач сотрудников лаборатории было *выявление пока еще не регламентированных законодательно механизмов трансформации ландшафтных структур*, оказывающих существенное воздействие на структуру земной поверхности и вызывающих деградацию ландшафтных систем. Для ее решения требовалось разработать методы оценки степени воздействия на экологическое состояние осваиваемых территорий НГК.

На рис. 1 продемонстрированы границы систем геотехнического контроля за состоянием технических объектов и виды регламентированного мониторинга за состоянием окружающей среды при разработке месторождений УВ. Выделены три вида границ. Данные границы рассчитываются и выделяются на основе законодательно-нормативных документов, согласно которым объектом контроля экологического состояния осваиваемых территорий являются только компоненты ландшафта, но не структура ландшафта в целом. Стоимостной (экономической) оценке арендуемой земли должен подвергаться ландшафт и его структура, являющаяся природным ресурсом, поскольку деградация ландшафта наносит ущерб государству и соседним землепользователям.

Из рис. 1 также видно, что в пределах выделенной зоны земельного отвода, где осуществляется геотехнический и производственно-экологический контроль за компонентами ландшафта и техническим состоянием объекта, преследуется цель обеспечения проектного уровня параметров как компонентов ландшафта, так и геологической среды, изменение которых может привести к отказам работы технического объекта. Причем экологические параметры в зоне ПЭМ оцениваются на основе нормативных значений ПДК загрязняющих веществ. Прямая связь ПДК с трансформацией ландшафта нормативно-законодательными актами не предусматривается.

В связи с этим деградация ландшафта, которая происходит в пределах исследуемой территории, может, с одной стороны, существенно не изменяя ПДК, приводить к аномальным изменениям проектных параметров грунтов оснований и сооружений за счет изменения параметров среды, а также к активизации опасных экзогенных процессов; с другой стороны, землепользователь может искусственно (на основе рекультивационных мер) поддерживать ПДК, не нарушая экологического законодательства, но при этом изменять структуру ландшафта. Подобный экологический контроль не позволяет провести оценку изменения прилегающих природных ландшафтов или природно-техногенных ландшафтов, расположенных рядом с другими землепользователями. Данная ситуация ставит еще одну *важную научно-методическую задачу* оценки трансформации ландшафтных структур вследствие воздействия каждого землепользователя и недропользователя, а также интегрального изменения состояния окружающей среды. Решение этой задачи будет показано ниже на основе метода системно-сопряженного картографирования, разработанного в лаборатории.

Как известно, тектонический фактор играет подчиненную роль в современных процессах рельефа образования, так как смена тектонических обстановок, приводящих к изменению рельефа поверхности, проявляется на геологических временах. По данным [4, 5], природные геодинамические процессы сказываются в основном на региональном уровне, причем скорость этих региональных поднятий и опусканий земной поверхности измеряется миллиметрами в год, что не может оказать существенного влияния на процессы преобразования современного рельефа.

Однако детальные и систематические исследования современных геодинамических процессов, проводившиеся на геодинамических полигонах, расположенных как в сейсмичных, так и в асейсмичных районах, позволили получить новые данные о современном геодинамическом состоянии недр [6–9]. В результате исследований было установлено, что высокоградиентные движения, которые превышают на порядок региональные, обусловлены не вертикальными перемещениями бортов разломных зон (блоков, разделенных разломом), а проседанием земной поверхности, происходящим в пределах самих разломных зон. Измерения, проводившиеся в пределах платформенных и орогенных территорий, имеющих различное геологическое строение и географическое положение, позволили выявить аномалии современных вертикальных движений земной поверхности в зонах разломов, имеющих ширину от 0,1 до 1,5–2,0 км.

Эти вертикальные движения являются высокоградиентными (свыше 50 мм/год), короткопериодичными (от месяца до первых лет), пространственно локализованными и обладают пульсационной и знакопеременной направленностью. Наиболее экстремальной формой проявления современной аномальной геодинамики недр являются локальные просадки земной поверхности в зонах разрывных нарушений – так называемые  $\gamma$ -аномалии (по Ю.О. Кузьмину [6–9]). Это также относится и к зонам разломов, расположенных в сейсмоактивных регионах, которые в данный момент либо не являются сейсмогенерирующими, либо находятся в состоянии «сейсмического затишья».

Как было уже сказано выше, эндогенные региональные процессы, протекающие миллионы лет, определяют в первую очередь региональный фон и характер напряженного состояния, которое задают граничные (внешние) условия при описании локальных деформационных аномалий.

На основе результатов, проведенных в [10], покажем, что при определенном регламенте геодезических наблюдений и расстановки пунктов наблюдений авторами получены уникальные сведения о деформации земной поверхности в пределах разломной зоны.

На примере повторных детальных полевых геодезических измерений в зоне разлома, где расстояния между реперами равны 50 м, а измерения производятся 3 раза в две недели, можно продемонстрировать процесс оседания земной поверхности: при ширине разломной зоны 300 м за 3 года просадка составила 18 см (рис. 2). Из рисунка видно, что разлом (его ширина – 1,5 км) состоит из трех частей, в которых процесс оседания идет с разными скоростями, что характеризует данную зону как весьма неоднородную по строению и состоянию горных пород. Следует отметить, что подобные измерения никогда в мире не проводились с такой детальностью в зонах разломов; полученный результат подтверждает практические и теоретические положения Ю.О. Кузьмина, описанные выше. *Факт проявления современных деформаций земной поверхности в зонах разломов является фундаментальным основанием для пересмотра механизмов изменения ландшафтных структур и учета техногенно-индуцированных воздействий на зоны разломов при разработке месторождений УВ.*

Таким образом, выявленные аномальные современные геодинамические движения в зонах разломов позволяют раскрыть с совершенно иных (геодинамических) позиций в географии новые механизмы самоорганизации и деструкции ландшафтных систем,

определяющие динамику локального уровня географического пространства, а также понять связь и ритмику процессов активизации опасных геологических явлений, техногенно-индуцированных разработкой месторождения.

Полученный экспериментальный материал, несомненно, указывает на локальную пространственно-временную нестабильность (неустойчивость) процессов деформирования земной поверхности, имеющих место в пределах собственно разломных зон. Поэтому к экологическим факторам сегодня необходимо отнести еще один новый фактор (*современная геодинамика разломных зон*), который может обуславливать трансформацию ландшафтных систем и повышение уровня аварийности сооружений НГК.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Контроль за экологическим состоянием на объектах НГК должен осуществляться на основе ландшафтного подхода;
2. Необходимо разработать методику оценки степени воздействия на структуру земной поверхности и ландшафт техногенно-индуцированных геодинамических процессов, происходящих при разработке нефтегазовых месторождений и эксплуатации ПХГ.

Очевидно, что, с одной стороны, внедрение новых технологий и технических средств интенсификации процессов добычи природных полезных ископаемых должно служить цели улучшения социального и материального положения людей, а с другой (как происходит на практике) – освоение ресурсов УВ приводит к экономическим утратам природно-хозяйственного и экологического ресурса территорий. Поэтому государством должна осуществляться такая политика, которая требует не только действительного контроля за состоянием окружающей среды, но и возвращения части капитала при недропользовании на ее поддержание и восстановление.

## **2. Оценка влияния современной геодинамики недр на динамику изменения морфометрических характеристик земной поверхности**

В методическом отношении эколого-геодинамическую оценку воздействия объектов НГК на недра и земную поверхность целесообразно рассматривать прежде всего как *информационную задачу*. Ее решение предлагает использование достижений наук о Земле, в том числе аэрокосмических методов, обладающих уникальным свойством

генерализации при дешифрировании природных и природно-техногенных объектов на основе принципа от «общего к частному», определяющего на всех уровнях исследований (региональном, зональном и локальном) сохранность и целостность контуров выделяемых объектов и свойственных им явлений.

Для оценки влияния локальных просадок [11], формирующихся в процессе активизации разломных зон, на изменение рельефа земной поверхности и его структуру приведем пример расчета углов наклона, которые образуются при возникновении  $\gamma$ -аномалий (табл. 1).

Таблица 1

**Расчетные значения углов наклона земной поверхности в разломной зоне при ее активизации**

Ширина разломной зоны, $D$ (m)	Оседание земной поверхности, $H$ (m)	Половина ширины разломной зоны $d = D/2$ (m)	Угол наклона земной поверхности, $\alpha$ (°)
1500	0,1	750	0,008
1500	0,2	750	0,015
1500	0,3	750	0,023
500	0,1	250	0,023
500	0,2	250	0,046
500	0,3	250	0,069
300	0,1	150	0,038
300	0,2	150	0,076
300	0,3	150	0,114

Из данной таблицы видно, что углы наклона земной поверхности ( $\alpha$ ) в разломной зоне, в зависимости от ее ширины и величины просадки, могут составлять от 0,1 до 0,01°.

Подобные величины наклона земной поверхности, как для платформенных, так и для орогенных территорий, не смогут оказать существенное влияние на развитие опасных экзогенных процессов и свойства горных пород, связанные с изменением базиса эрозии. Из данной таблицы можно видеть, что даже при угле наклона 0,1° возникающие относительные деформации горных пород в зоне разлома составляют  $2 \cdot 10^{-3}$ , что превышает порог прочности геоматериалов. Эти деформации могут привести к

разупрочнению горных пород в разломе и повлиять на увеличение флюидопроницаемости данной зоны, что скажется на развитии, например, карстовых и суффозионных процессов.

В табл. 1 приводятся значения углов наклона земной поверхности, которые образовались за период, равный, в среднем, одному году. В отличие от природных воздействий, имеющих свой характер временной цикличности при активизации глубинных и поверхностных факторов в проявлении опасных процессов и явлений на земной поверхности, на месторождениях нефти и газа существует дополнительный фактор техногенного воздействия на недра. Вследствие постоянного характера данного воздействия на недра и период разработки месторождения 70–100 лет величины углов наклона земной поверхности в разломной зоне могут достигнуть максимальных значений – от 1 до  $10^\circ$  за сто лет, что является весьма существенным для развития опасных экзогенных процессов на территориях обустройства месторождений (площадных, линейных и точечных объектах и т.п.). Уровень аномальных деформаций, возникающий в горных породах разломной зоны при ее активизации, приводит к разупрочнению горных пород, увеличивая их фильтрационные свойства, а также к деформациям фундаментов и конструкций сооружений, которые по законодательству относятся к особо опасным промышленным объектам.

Выявленные временные рамки и параметры активных участков проявления вертикальных движений земной поверхности позволяют по-новому взглянуть на локальные процессы изменения рельефа земной поверхности. Здесь можно выделить два вида процессов: 1) перераспределение потоков поверхностных вод – подтопление, заболачивание территорий, изменение русловых процессов, а также градиентов поверхностного стока; 2) активизация различных геологических процессов – оползней, карста, селей, а в местах распространения многолетнемерзлых пород активное развитие термокарста, термоэрозии, бугров пучения, хасыреев и т.п., приводящих к более быстрым изменениям рельефа.

Возможно, что данные современные геодинамические процессы в зонах разломов позволят объяснить унаследованность и проявленность в рельефе дневной поверхности таких долгоживущих образований, как линеаменты, которые наблюдаются на аэрокосмических снимках, и в большей степени отражают эндогенные изменения в недрах, создающие предпосылки их устойчивого отражения на поверхности Земли.

Разработка методов выявления активизированных зон разломов на основе ландшафтных индикаторов позволяет на разных стадиях освоения нефтегазовых месторождений (инвестиционная, проектная, эксплуатационная) выявить зоны опасного воздействия природных процессов на объекты НГК [12]. Для определения взаимосвязей тектонического строения месторождений УВ и прослеживания разломных зон, оказывающих влияние на земную поверхность, были проведены исследования по структурному дешифрированию систем линеаментов, сопоставляемых с зонами разломов, при использовании различных видов космических съемок [13]. Методика дешифрирования систем линеаментов, отражающихся на земной поверхности, для выявления опасных участков в пределах разломных зон построена на цветотонных и геоморфологических индикаторах, позволяющих выявить потенциально опасный геодинамический участок в плане.

Данные исследования показали:

1. Системно-иерархический подход в выделении линеаментов позволяет оценить основные направления развития трещиноватости территории и количественно определить размеры предполагаемых разломных зон.

2. С уменьшением масштаба используемой информации дистанционного зондирования Земли увеличивается количество линеаментов; как правило, уменьшается их длина, отдельные линеаменты распадаются на части, иногда меняется их преимущественная ориентировка. Линеаменты, видимые на мелкомасштабных снимках как единое целое, на снимках среднего масштаба обычно дешифрируются как зоны линеаментов со сложной внутренней структурой, а при переходе на крупный масштаб снимка эти зоны часто теряются.

3. Выявленные блоковые структуры хорошо согласуются с геолого-геофизическими данными, а организованность линеаментов, состоящая в образовании ими закономерных систем, ориентированных по определенным азимутам, отражает изменение регионального поля напряжений, характерное для современного этапа активизации геодинамических процессов.

На рис. 3 дана схема проведения исследований воздействия геодинамических процессов на экологическое состояние ландшафтных систем и использования данной информации для экспертных оценок изменения состояния природной среды.

Периодический характер геодинамических процессов в зонах разломов, многократно зафиксированный натурными наблюдениями (геодезическими, гравиметрическими и геохимическими), формирует в современном рельефе поверхности устойчивые индикаторы, которые фиксируются на различных материалах космических съемок. Эффект «просвечивания» глубинных структур на аэрокосмических снимках описан в работах В.И. Амурского, В.А. Буша, В.И. Гридина, Б.Н. Можаяева, А.Л. Ревзона, С.С. Щульца и др., пытавшихся объяснить его изменением физических полей в зоне разлома, но так и не давших окончательного ответа на вопросы: какие это поля и каким образом они влияют на отражательную способность поверхности.

Поэтому под *линеаментами* понимаются зоны спрямленных элементов структуры земной поверхности или резких границ ландшафтных комплексов, определенным образом организованные под действием тектонических полей напряжений разного ранга и отождествляемые с различными формами тектонических нарушений (флексурами, флексурно-разрывными деформациями, разломами, зонами повышенной трещиноватости и т.д.), в пределах которых наблюдается активизация экзогенных и эндогенных процессов [13].

Продемонстрируем линеаментный анализ на примере Ромашкинского месторождения, где для данного масштаба выявлены три уровня зон по их ширине (рис. 4).

Сопоставление результатов дешифрирования с результатами 3D сейсморазведки показывают, что данный линеаментный анализ хорошо отражает глубинную тектоническую структуру территории и проявляется в более мелких деталях при увеличении масштаба исследований (рис. 5).

Разноранговый блоковый характер, сформированный зонами северо-западных и северо-восточных линеаментов, определяет интегрированную картину действующих региональных и локальных полей напряжений на современном этапе. Но это не является доказательством того, что все эти зоны появились одновременно. Их заложение (направление и ранг) происходило в разные периоды времени при активизации геодинамических движений блоков фундамента, связанных с неотектонической активностью данного региона.

Схема детализации систем линеаментов по принципу «от общего к частному» дешифрирующихся на космических снимках (от мелкого масштаба к крупному), представлена на рис. 6 и 7 для территории Касимовского ПХГ.

Недоучет воздействия опасных геодинамических процессов на природно-территориальные комплексы при проектировании и эксплуатации объектов НГК связан в большинстве случаев с пробелом в экологическом законодательстве. В связи с этим авторы предлагают эффективный план развития нормативной базы эколого-промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса с учетом научных представлений и рациональной политики природопользования. Для его реализации необходимо на базе профильных институтов РАН сформировать экспертный центр, который должен проводить независимую экспертизу проектной документации особо ответственных объектов НГК с целью осуществления доработки проектов и их согласования с контролирующими государственными органами. Использование экспертного центра в качестве площадки для обсуждения крупных проектов с общественными организациями позволило бы, с одной стороны, привлечь заказчиков для развития этих центров без дополнительного государственного финансирования, а с другой стороны, стимулировало бы развитие научного потенциала академических институтов при разработке инновационных технологий на базе усовершенствования уже существующих, применяемых в проектах. Таким образом, возможно обеспечить наращивание научного потенциала для повышения надежности эколого-промышленной безопасности объектов НГК с продвижением его в прикладную область исследований при четком понимании задач развития экономического пространства и приоритетов государства. В данном случае академическая наука становится независимым экспертом государственных контролирующих органов и исполнителей проектов, способствуя усилению госконтроля за эколого-промышленной безопасностью страны, обучая и формируя кадровый состав для его продвижения в органы государственного контроля, а также осуществляя связи с научными подразделениями и другими зарубежными экспертными центрами.

### **3. Системно-картографическое моделирование эколого-геодинамической опасности объектов нефтегазового комплекса**

Создание основ эколого-геодинамического картографирования для объектов нефтегазового комплекса опиралось на научно-методологические принципы и идеи комплексного тематического картографирования, заложенные К.А. Салищевым, И.П. Заруцкой, А.М. Берлянтном, А.Г. Исаченко, а также на работы в области

геоинформационного картографирования А.М. Берлянта, Б.А. Новаковского, В.С. Тикунова, И.К. Лурье и др.

Данные представления строятся на системном картографическом подходе. В качестве базового метода отображения и анализа эколого-ресурсной информации предложен картографический метод исследования. Карта выступает в двойной роли – в качестве средства исследования и как модель изучаемых явлений. При этом обработка и представление картографических, аэрокосмических и фактических материалов обеспечивают комплексность и непротиворечивость, оперативность получения, систематизации и интерпретации данных. Весь процесс картографирования построен по принципу от «общего к частному», что позволяет получать новую информацию при переходе от одного информационного уровня к другому и непротиворечивую информацию – о структуре и состоянии картографируемых объектов, обеспечивая тем самым исключение ошибок сначала при районировании территории в региональном масштабе, а затем при наблюдении и контроле на локальном уровне.

Проводимые исследования затрагивают все компоненты окружающей среды. Главная трудность состоит в том, что объекты находятся в районах с уже развитой инфраструктурой промышленных предприятий, транспортной сети и сельскохозяйственных угодий. В таком случае приходится исследовать и природу, и все взаимоотношения между человеком и окружающей средой на данной территории.

Картографический анализ строится по технологической схеме *«инвентаризация – зонирование – оценка (включая прогноз ожидаемых последствий)»*. На начальном этапе работ в рамках инвентаризации природных условий и особенностей антропогенной нагрузки, определяющих в целом экологическую ситуацию в данном районе, составляются базовые и базовые производные карты, представляющие основополагающую информацию общего содержания. Далее в целях функционального зонирования, т.е. выделения относительно однородных по природным особенностям и техногенной нагрузке участков, строятся специальные карты, обладающие также разного рода прогнозной информацией. Наконец, заключительный этап комплексной оценки, включающей нормирование нагрузок, характеристики ожидаемого ущерба, рекомендации по мониторингу, превентивным мероприятиям и др., сопровождается созданием итоговых карт.

На рис. 8 приведен алгоритм создания карт различного информационного уровня, где показаны разграничения и тематическая направленность в получении исходного результата с целью последующего его использования на другом уровне решения задач поставленных исследований.

*Исходные данные* служат основным источником информации для дальнейших исследований. К исходным данным относятся: аэро- и космические снимки, топографические карты, материалы тематических съемок, проектно-изыскательские, геолого-геофизические, кадастровые данные и другие архивные материалы. Выделение этапа сбора исходных данных в общей схеме картографирования проистекает из понимания важности этой работы. Уже на данной стадии исследования возможно выявление природных особенностей территории, существующей техногенной нагрузки.

*Базовые карты* служат источником разнородной информации для производных аналогов. Создание базовых карт является начальным этапом картографирования. Они в наиболее интегрированном виде содержат те важнейшие характеристики территории, без которых невозможна ее полная оценка. Последняя может быть получена в результате синтеза одних только базовых карт, однако в данном случае она будет носить обобщенный характер и не сможет отразить отдельных частных, но в то же время важных особенностей целевого назначения. Поэтому в дальнейшем для устранения этих недостатков строятся базовые производные карты.

*Базовые производные карты* составляются главным образом с целью конкретизации, уточнения и детализации тех особенностей природных и техногенных компонентов, а также их динамики, сведения о которых, исходя из базовых карт, недостаточны, хотя значимость их для полноценного исследования объекта велика.

*Специальные карты* предназначены для фиксации связей и взаимодействий между природными и техногенными объектами, что имеет важное практическое значение для целей мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду. К числу таких карт можно отнести карты с геохимическими характеристиками, которые несут в себе количественную и качественную оценку состояния окружающей среды, в данном случае после антропогенного вмешательства, и тем самым показывают взаимодействия между природными и техногенными объектами.

*Итоговые карты (карты выводов, рекомендаций, прогнозов)* логически завершают на каждой стадии сложный многоуровневый картографический анализ. Именно такая

организация процесса картографирования, когда на каждом из уровней ставятся и решаются только присущие ему задачи, позволяет максимально упростить содержание результирующих карт последнего уровня без какой-либо потери информативности и отобразить целевые выводы и рекомендации в предельно концентрированном виде. Последнее обстоятельство, как показывает практика, крайне важно в смысле доступности изложения, как самих выводов, так и исходной информации, прежде всего для управленческого звена, проектных и экологических служб производственных организаций, а также для широкой общественности.

Картографическая форма представления создает необходимую информационную основу для автоматизированных систем слежения за средой в режиме мониторинга и для принятия управленческих решений. В свою очередь, создание геоинформационных картографических баз данных выдвигает ряд специальных требований к виду, содержанию и форме представления используемой информации. Первое требование – это обязательная *сопряженность* (по масштабу, проекции и контурам) всех составляемых карт, обеспечивающая при их совместном анализе непротиворечивость и преемственность содержания и одновременно исключает дублирование информации. Второе требование заключается в реализации приема *последовательного перехода* от одной карты к другой и (или) соединения сведений, содержащихся в разных картах. При этом создаваемые карты должны дополнять друг друга. Данные принцип продемонстрируем на рис. 9.

Согласно СП 11-104-97, СНиП 2.02.01 и др., предельно допустимые деформации (за весь срок службы сооружений) в основании объектов строительства не должны превышать: относительное горизонтальное сжатие или растяжение –  $10^{-3}$ , наклон –  $3 \cdot 10^{-3}$ , относительная неравномерность осадок земной поверхности –  $6 \cdot 10^{-3}$ , крен основания –  $5 \cdot 10^{-3}$ .

В этой связи можно констатировать, что если среднегодовые скорости относительных деформаций достигают величин порядка  $5 \cdot 10^{-5}$ – $5 \cdot 10^{-4}$  в год, то зоны разломов, в пределах которых они выявлены, представляют собой зоны повышенной геодинамической опасности, поскольку за период эксплуатации объекта уровень накопленной относительной деформации может достигнуть (или даже превзойти) нормативные значения.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать следующие *критерии районирования геодинамической опасности*, необходимые для последующего построения соответствующих карт.

1. Область *повышенной геодинамической опасности* – пространственная приуроченность зон:

а) суперинтенсивных деформаций земной поверхности со скоростями относительных деформаций, больших, чем  $10^{-5}$  в год;

б) разломов фундамента и линеаментов.

2. Область *умеренной геодинамической опасности* – пространственная приуроченность зон:

а) разломов фундамента;

б) линеаментов.

3. Область *низкой (приемлемой) геодинамической опасности*, приуроченная к зонам линеаментов.

4. Область аномальной деформационной активности недр – пространственная приуроченность зон:

а) суперинтенсивных деформаций земной поверхности со скоростями относительных деформаций больших, чем  $10^{-5}$  в год;

б) сейсмической активности, зарегистрированной инструментально и превышающей по энергетике  $K \geq 6$  (больше, чем  $10^6$  Дж).

На основе сформулированных критериев авторами разработана методика построения карт геодинамической опасности для юго-востока территории Республики Татарстан.

Для построения карты геодинамической опасности юго-востока территории Республики Татарстан использовались материалы геоморфологической, геологической и аэрокосмической съемок, топографические карты, схемы линеаментов, карты разломов фундамента, результаты натурных измерений и их физико-математическая интерпретация, а также литературные источники и отчетные материалы.

Данная карта получена на основе разработанных критериев геодинамической опасности путем синтеза информации.

Картирование областей повышенной геодинамической опасности проводилось путем сопоставления картографической информации о пространственной сопряженности

зон суперинтенсивных деформаций земной поверхности, разломов фундамента и линеаментов.

Окончательный вариант карты зон повышенной геодинамической опасности недр в пределах исследуемой территории отображает области, подверженные повышенной геодинамической опасности (красный контур), умеренной геодинамической опасности (желтый контур) и области, по которым либо отсутствует геодинамическая информация, либо за время существования объектов НГК не было зарегистрировано аномальных и опасных геодинамических процессов (зеленый контур).

Далее, на основе разработанных критериев геодинамической опасности, ширины разломных зон и различного ранга линеаментов были определены контуры областей по степени геодинамической опасности.

Окончательный вариант карты потенциальной эколого-геодинамической опасности в пределах исследуемой территории Щелковского ПХГ, совмещенный с картами оценки состояния ландшафтов и расположением объектов инфраструктуры ПХГ (рис. 10), отображает области, подверженные повышенной эколого-геодинамической опасности (красный контур), умеренной опасности (желтый контур). Территории, оконтуренные зеленым цветом, могут относиться к неопасным областям по степени геодинамического воздействия на них, но, с другой стороны, для данного масштаба исследований мы их относим к областям недостаточной геодинамической изученности, что дает повод к проведению дополнительных исследований этих территорий.

### **Выводы**

Реализованная методика системного картографирования позволила разработать алгоритм построения тематических карт и на их основе разработать научно-методические подходы к созданию информационных технологий оценки эколого-геодинамической опасности.

Опыт подобных исследований на нефтегазовых месторождениях Западной Сибири и ПХГ, расположенных в платформенных регионах, показывает, что ранжированный подход к структурному дешифрированию территорий на основе аэрокосмической информации позволяет с новых позиций современной геодинамики подойти к геоэкологической оценке территории. Речь идет о моделях отображения структурных закономерностей накопления и распределения вещества на различных срезах земной коры, включая ее поверхность, а также моделировании пространственно-временной

геофильтрации, определяемых анизотропией свойств геологической среды. Такому отображению, по нашему мнению, соответствует слоисто-блоковая модель строения литосферы.

Практической реализацией данных представлений на локальном уровне служат последовательная конкретизация изученных региональных и зональных средообразующих факторов и создание картографической модели опорных элементов геоэкологического состояния территории в виде послонных карт и состояний отдельных природных объектов ландшафта, испытывающих значимое техногенное воздействие. Системно-сопряженный подход к тематическому картографированию предполагает организацию выполнения работ на четырех уровнях:

- 1) базовые карты;
- 2) базовые производные карты;
- 3) специальные производные карты;
- 4) карты выводов и рекомендаций.

Проведенные исследования на Щелковском ПХГ позволяют сделать следующие выводы:

1. Геоэкологическую оценку ПХГ следует рассматривать с позиций слоисто-блоковой модели неоднородности литосферы, адекватно отображающей закономерности накопления и распределения вещества как в недрах, так и на земной поверхности; в качестве базового метода моделирования целесообразно использовать системно-сопряженное тематическое картографирование.

2. Геоэкологическое состояние территории Щелковского ПХГ и структура ландшафта связаны с анизотропией свойств геологической среды, обусловленной диагональной и ортогональной системами линеаментов и контролируются современными геодинамическими процессами.

3. На локальном уровне элементы линеаментной тектоники отражаются как в структуре различных стратиграфических горизонтов, так и в особенностях земной поверхности (рельеф, почва, растительность и др.).

4. Глубинная структура Щелковского поднятия находит отображение на земной поверхности, что свидетельствует об унаследованном развитии данной территории на современном этапе. При этом по результатам комплексной обработки аэрокосмической и

геолого-геофизической информации получены новые данные об элементах геологического строения, имеющие важное промысловое и геоэкологическое значение.

5. На Щелковской площади аномальное фоновое подпочвенное загрязнение углеводородами (в образцах с глубины 1 м) и гидрохимические аномалии по водоносным горизонтам также контролируются диагональной системой линеаментов, отождествляемых с зонами разломов.

6. Ретроспективный анализ процесса эксплуатации Щелковского ПХГ показывает, что геодинамические факторы играют определяющую роль в распределении параметров природной среды (гидрогеохимических, физико-механических и др.), обуславливая их значительные антропогенные изменения по сравнению с фоновыми значениями.

7. Недоучет геодинамических факторов не позволяет реально оценивать геоэкологическую обстановку территории, определять динамику и направленность процессов, а следовательно, оптимально планировать систему природоохранных мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Преображенский В.С.* Организация, организованность ландшафтов: (препринт). М.: Ин-т географии АН СССР, 1986. 20 с.

2. *Арманд А.Д.* Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. 260 с.

3. *Костинский Г.Д.* Идея пространственности в географии // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 6. С. 31–40.

4. *Макаров В.И.* О региональных особенностях новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Саратов, 1996. С. 53–60.

5. *Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И.* Активные разломы и сейсмичность // Природа. 1989. № 12. С. 32–38.

6. *Кузьмин Ю.О.* Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Науч.-техн. сб. «Геологическое изучение и использование недр». М., 1996. Вып. 4. С. 43–53.

7. *Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство Экон. Новостей, 1999. 220 с.

8. *Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика разломных зон // Физика Земли. 2004. № 10. С. 95–112.
9. *Кузьмин Ю.О.* Тектонофизические проблемы современной геодинамики // Современная тектонофизика. Методы и результаты. М., 2011. Т. 2. С. 19–52.
10. *Кузьмин Ю.О., Чуриков В.А.* Механизм формирования аномальных деформационных процессов в период подготовки Камчатского землетрясения 2 марта 1992 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 37–51.
11. *Кравцов В.В., Никонов А.И.* Системно-иерархическая структура полей напряжений и ее отражение на аэрокосмических снимках на примере Самотлорского месторождения (Черногорская площадь) // Геология, геофизика и разраб. нефт. месторождений. 1996. № 8/9. С. 18–21.
12. *Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Шаповалова Е.С.* Развитие опасных экзогенных процессов при изменении структуры ландшафтов под воздействием геодинамических факторов // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всеросс. совещ. и молодежной школы по современной геодинамике (г. Иркутск, 23-29 сентября 2012 г.): в 2 т. Иркутск, 2012. Т. 2. С. 102–104.
13. *Никонов А.И.* Тектонофизические аспекты структурного дешифрирования линеаментных систем // Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы Второй молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2011. Т. 2 (лекции). С. 78–93.

ПРИЛОЖЕНИЕ

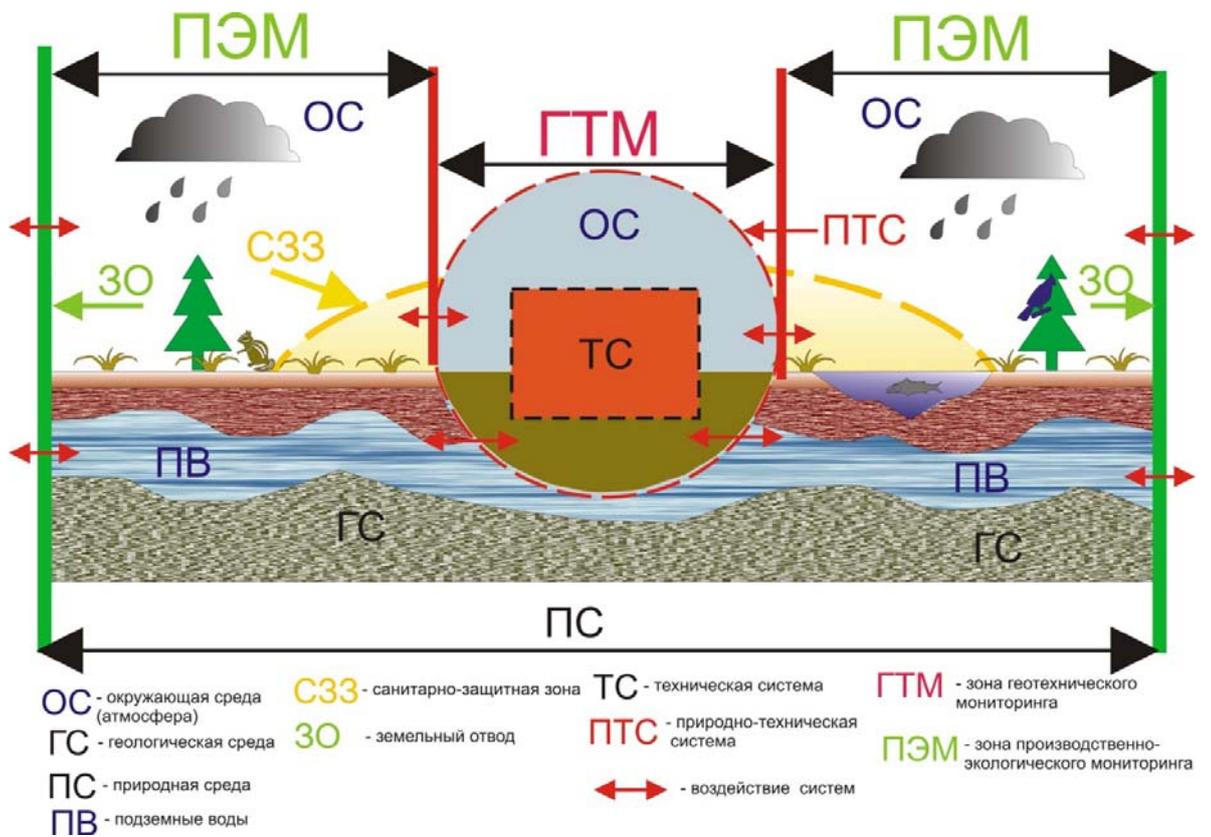


Рис. 1. Схема взаимного воздействия природных и природно-технических систем на ландшафт

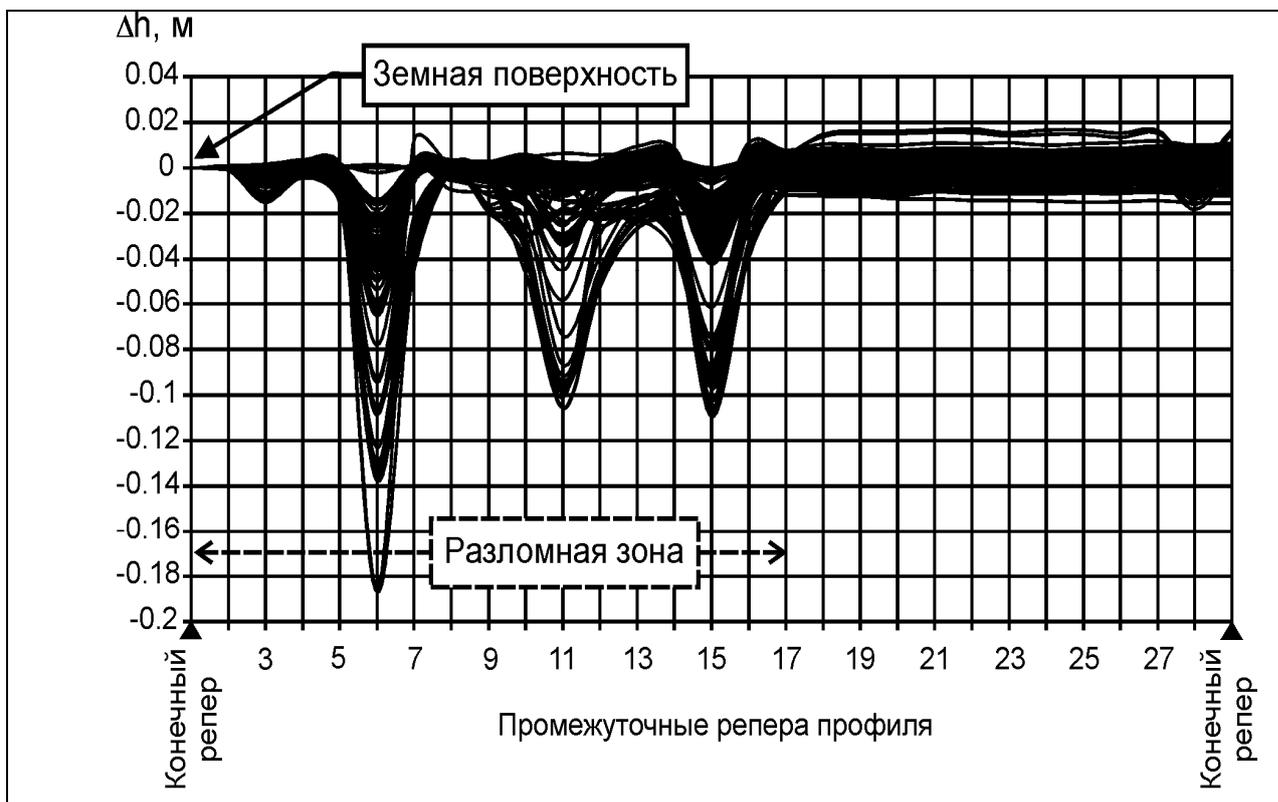


Рис. 2. График развития локальных просадок в разломной зоне при проведении детальных повторных геодезических измерений (объяснения в тексте)

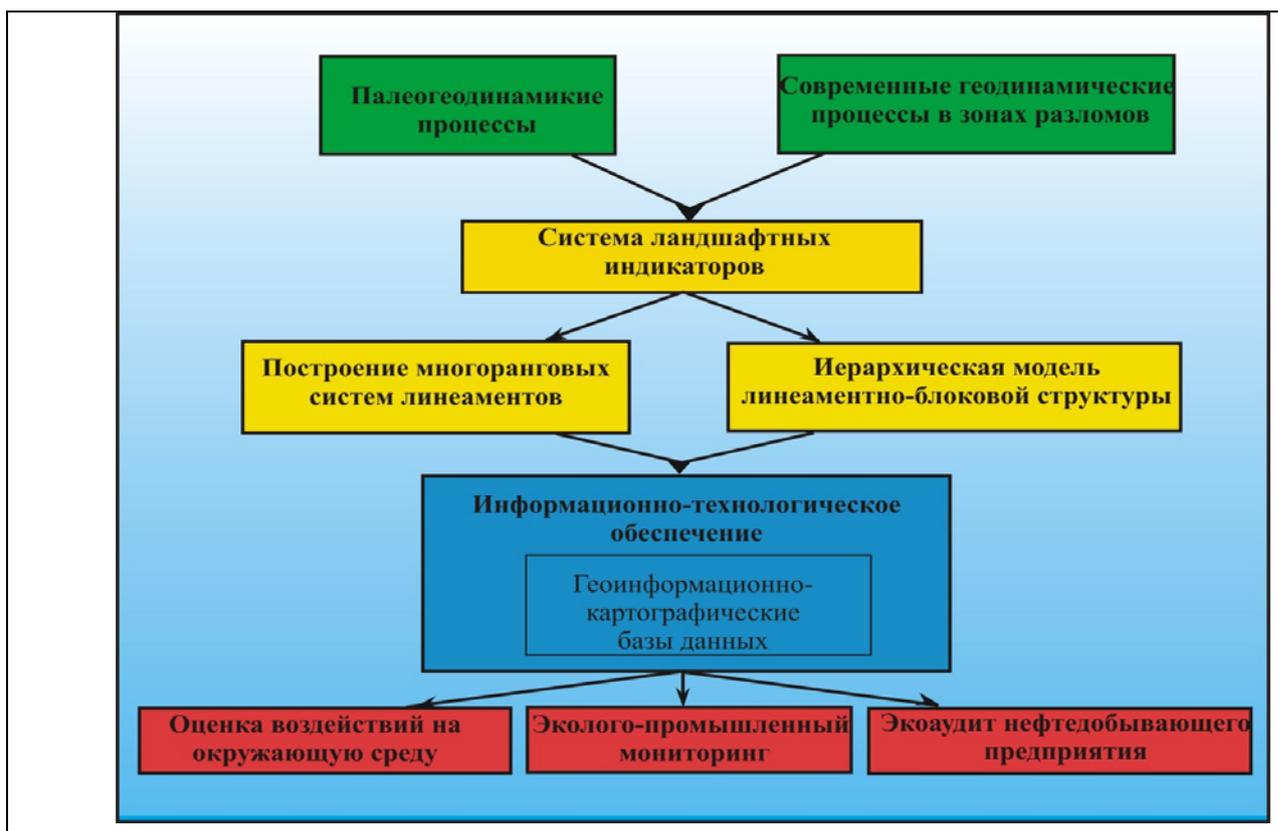


Рис. 3. Последовательность проведения исследований оценки трансформации ландшафтных систем

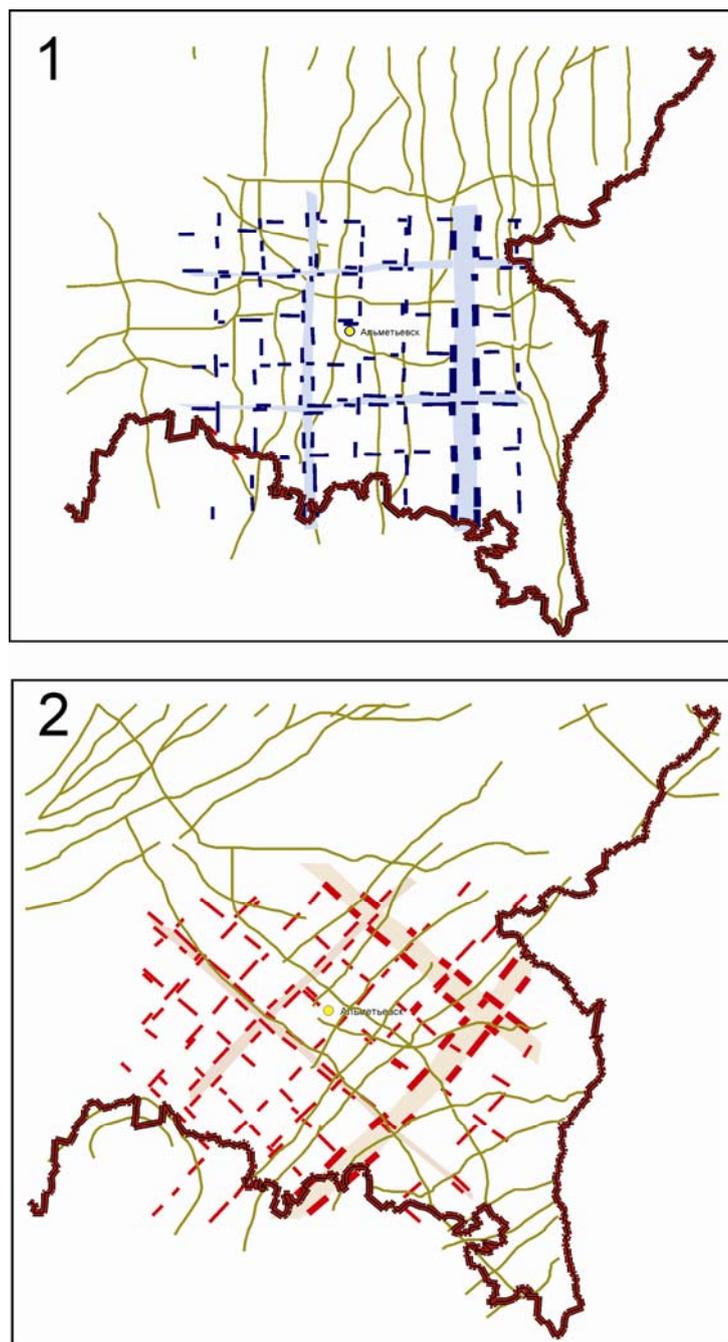


Рис. 4. Схема структурного дешифрирования ортогонального (1) и диагонального (2) простираения линеаментов территории Ромашкинского месторождения, сопоставляемых с зонами разломов (повышенной трещиноватости) фундамента, выявленных по геолого-геофизическим данным

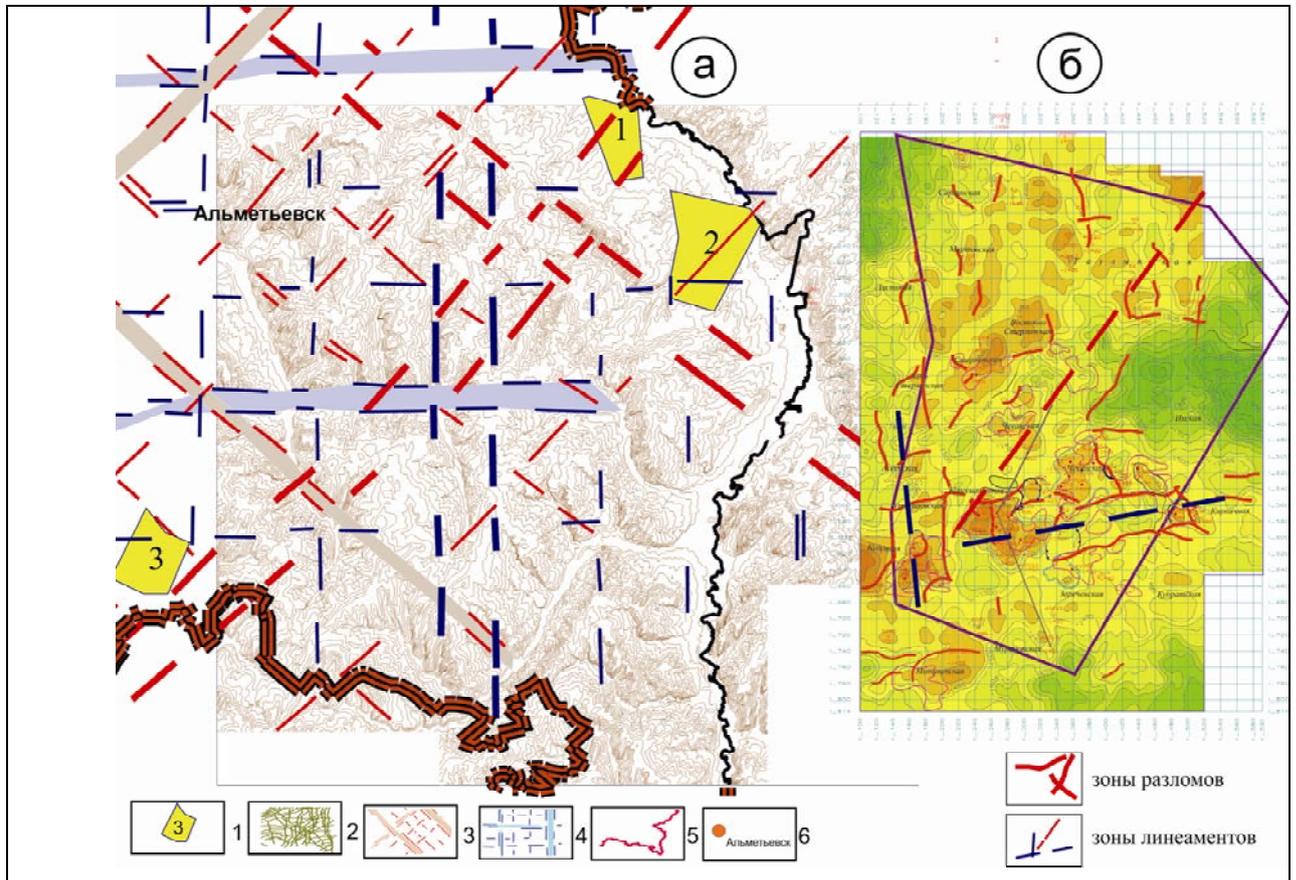


Рис. 5. Схема сопоставления линеаментной тектоники с зонами разрывных нарушений, выделенных по сейсморазведочным данным на территории Чеканского месторождения:

а) схема линеаментов, построенная по ландшафтным индикаторам (по данным Никонова А.И.): 1 – площадь горного отвода месторождения; 2 – разломы фундамента, выявленные по геолого-геофизическим данным; 3, 4 – разноранговые линеаменты диагонального и ортогонального простирания; 5 – граница Татарстана; 6 – местоположение городов;

б) структурная карта по кровле пашийского горизонта ( $D_{3p}$ ) по данным сейсморазведочных работ (ОАО «ТАТНЕФТЕГЕОФИЗИКА», 2004 г)

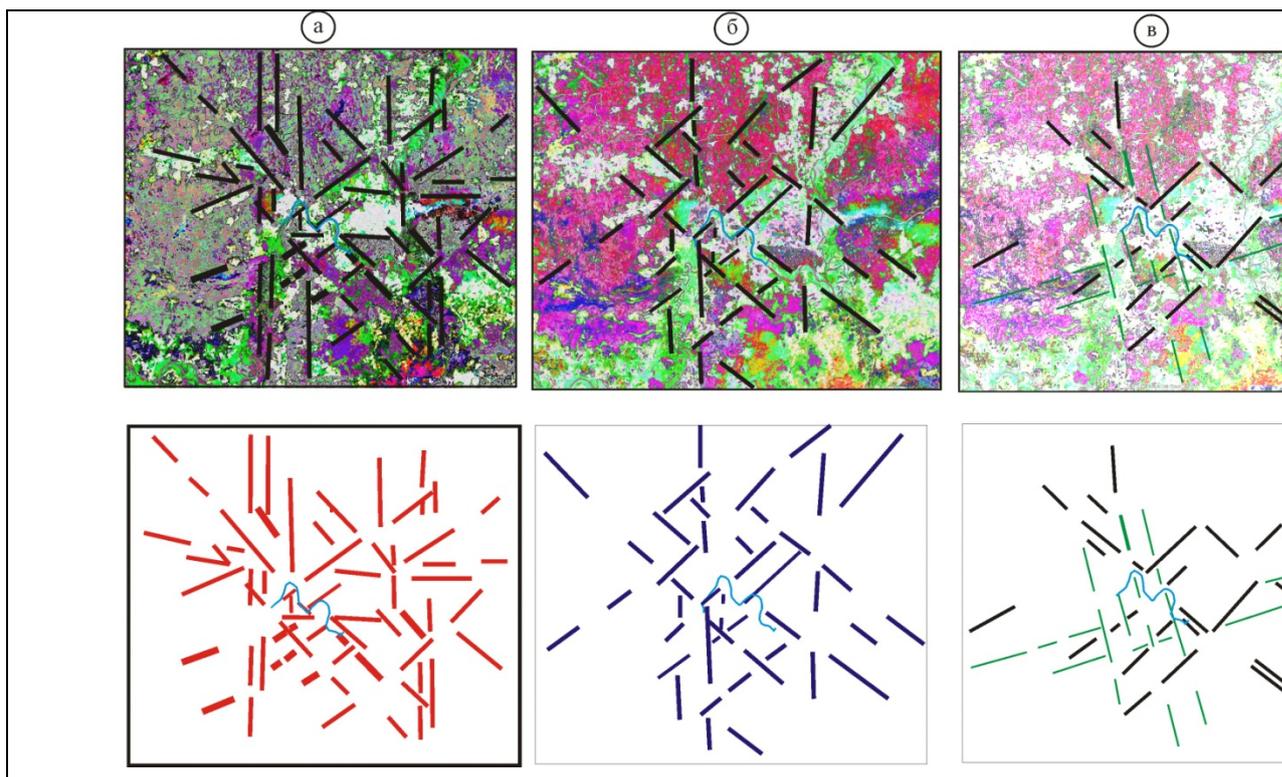


Рис. 6. Результаты дешифрирования линеаментных структур, сопоставляемых с тектоническим строением фундамента, территории Касимовского поднятия после цветотонной обработки космических снимков:

а – для выделения ортогональных простираний линеаментов; б – для выделения линеаментов; в – для определения современных направлений в структуре рельефа диагональных простираний

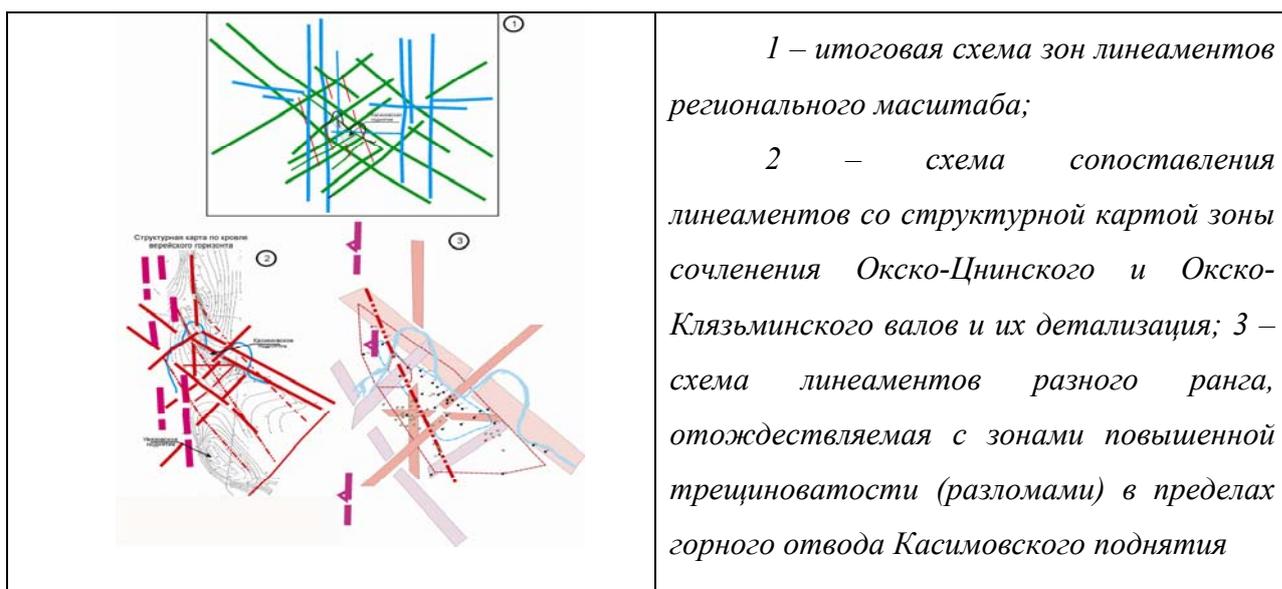


Рис. 7. Реализация метода структурного дешифрирования от мелкого масштаба к крупному

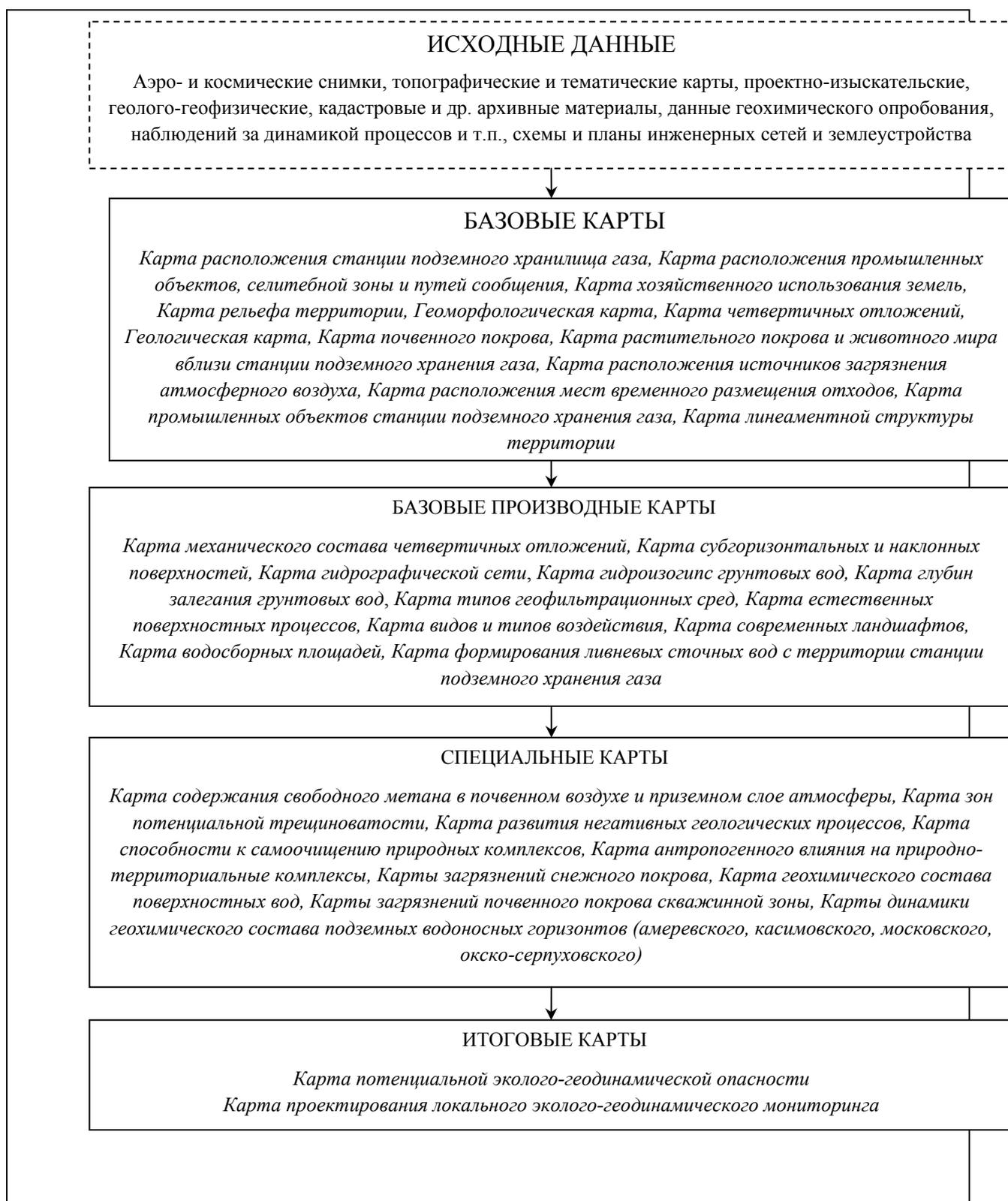


Рис. 8. Схема картографического обеспечения комплексной геоэкологической оценки территории Щелковского подземного хранилища газа для построения карты эколого-геодинамической опасности

## Технология создания карт зонирования территории

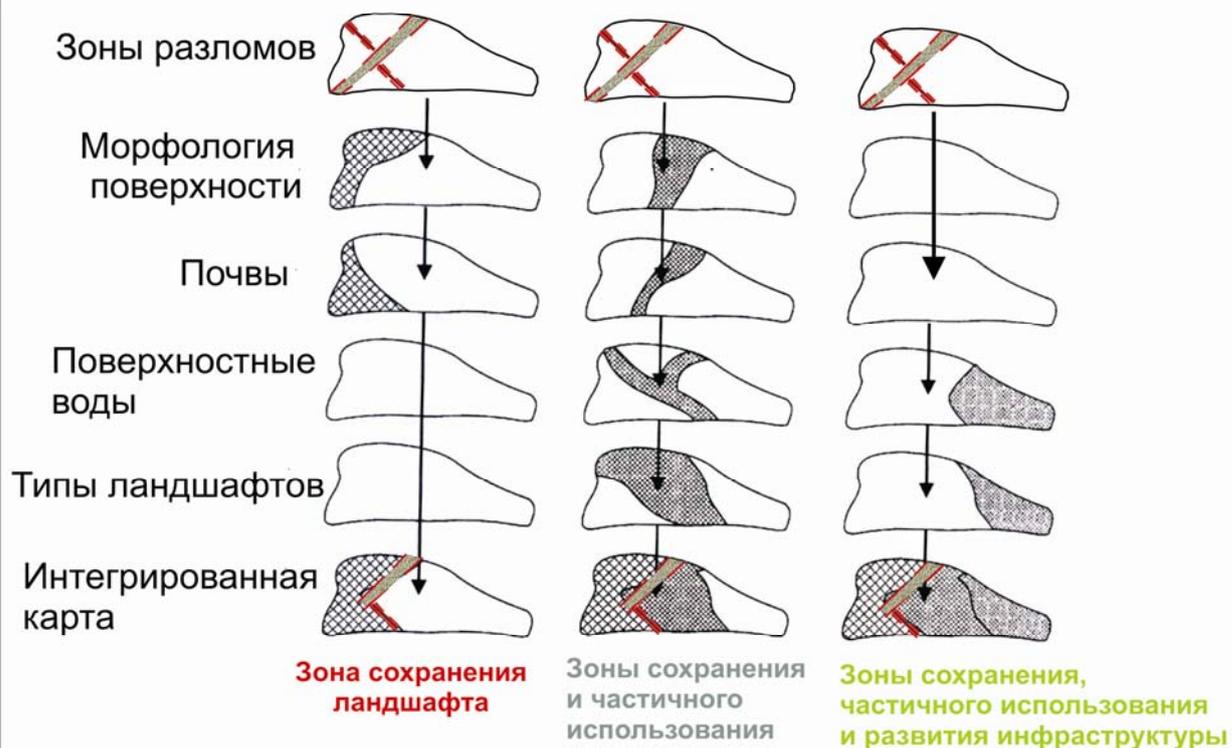


Рис. 9. Учет влияния геодинамических особенностей исследуемой территории на критерии использования ландшафта

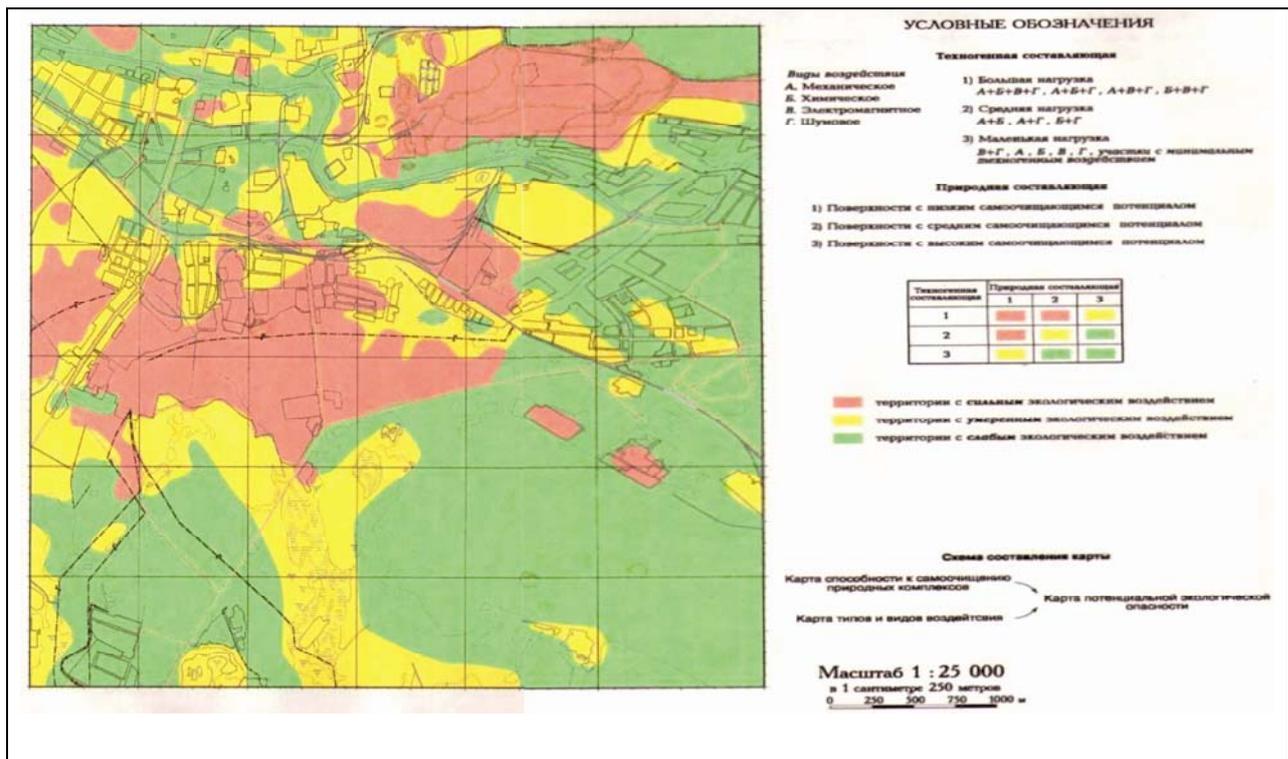


Рис. 10. Синтезированная карта эколого-геодинамической опасности объектов Щелковского ПХГ