

УДК 662.831:551.24

**ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРХНИХ УРОВНЕЙ
ЗЕМНОЙ КОРЫ АМУРСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ**

Б. Г. Саксин¹, И. Ю. Рассказов¹, Б. Ф. Шевченко²

¹*Институт горного дела ДВО РАН,*

ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия

²*Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН,*

ул. Ким-Ю-Чена, 65, 680000, г. Хабаровск, Россия

Изложены принципы и результаты изучения современного напряженно-деформированного состояния (НДС) верхних уровней земной коры в пределах Амурской литосферной плиты. Для комплексной геомеханической оценки условий разработки рудных месторождений использован метод дистанционного зондирования Земли. Показана информативность предлагаемого подхода при анализе разномасштабных данных как для оценки современного регионального напряженного состояния недр территории, так и для уточнения неотектонических особенностей районов локализации удароопасных месторождений.

Современное напряженно-деформированное состояние, верхние уровни земной коры, Амурская литосферная плита, разномасштабные информационные модели, удароопасные рудные месторождения

Прогнозирование и профилактика опасных динамических явлений, подобных разрушительным горнотектоническим ударам и техногенным землетрясениям при горных работах, является проблемой, решение которой может быть обеспечено лишь на основе знаний объективных законов эволюции геологической среды в зонах взаимодействия природно-технических систем. При инструментальных исследованиях деформаций земной поверхности на многих геодинамических полигонах установлен сложный спектр тектонических движений, которые неравномерно распределены по дискретной блочной среде. Там же обнаружены трендовые и колебательные смещения массива горных пород, характеризующиеся разными периодами. На этой основе возникло представление о том, что массив горных пород находится в процессе постоянного деформирования, и данное обстоятельство необходимо учитывать при решении прикладных задач горного дела [1 – 7].

Изучение природы техногенных катастроф при освоении недр показало, что основным их источником выступают современные геодинамические процессы, которые особенно интенсивно проявляются в зонах тектонических разломов различных рангов. Опыт эксплуатации ударо-

Работа выполнена в рамках проектов 12-II-CY-08-10 и 15-I-2-057 по программе фундаментальных исследований ДВО РАН “Дальний Восток”.

опасных рудников свидетельствует, что достоверность прогнозных оценок проявления горного давления в опасных формах существенно зависит от того, насколько полно удалось учесть региональную (весьма существенную для рудовмещающих горных массивов) составляющую поля напряжений. Учет регионального фактора является одним из важных условий как для соблюдения базового принципа структурно-масштабированной геомеханической оценки разрабатываемого массива горных пород, так и для определения степени его удароопасности [2, 5, 6]. Он предусматривает взаимную увязку структурных, геодинамических и геомеханических факторов, которые установлены на разных по масштабу уровнях исследования.

Обычно для каждого удароопасного месторождения требуется разрабатывать свои принципы изучения свойств и состояния геологической среды, позволяющие выделять первоочередные объекты и участки рудничного поля для последующего геомеханического мониторинга. В настоящее время методы оценки напряженно-деформированного состояния горного массива, как правило, не дают полной информации о протекающих в нем деформационных процессах. Однако путем комплексного анализа данных, полученных разными методами, имеется возможность выделять разнообразные факторы, отвечающие требованию взаимообусловленности или взаимозависимости, что в рамках соответствующей информационной модели позволяет более надежно определять участки для первоочередного контроля. Под геомеханическими информационными моделями (далее — информационная модель) авторы понимают комплект карт изучаемой территории (разного масштаба и глубинного уровня), которые отдельно (или совместно) отражают современное положение областей “растяжения – сжатия” и неотектонических структурных элементов, а также сведения о характере и кинематике их перемещения в новейшее время.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Характер неотектонических перемещений геологических объектов разного ранга (литосфера, земная кора, а также локальные структурно-формационные комплексы и блоки, включающие горные массивы эксплуатируемых месторождений) устанавливается в процессе комплексных исследований при формировании геомеханической информационной модели. На примере удароопасных месторождений, расположенных в пределах Амурской литосферной плиты [8], разработан подход структурно-масштабируемой геомеханической оценки условий их эксплуатации, который основан на следующих положениях (принципах):

1) морфология подошвы литосферного слоя Амурской плиты (изменение мощности — изменение литостатического давления на астеносферу) обуславливает региональный фон полей напряжений на исследуемой территории;

2) земная кора находится в постоянном движении и представляет собой блочно-иерархическую структуру, состоящую из соответствующих разломов и блоков, являющихся как генераторами, так и проводниками интенсивного энерго- и массопереноса, который и определяет естественное изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды;

3) главные усилия сжатия Амурского геоблока (континентальная часть Амурской литосферной плиты) поступают со стороны Сибирской платформы, что подтверждается характером проявления сейсмических процессов на его территории и особенно на границе, а также данными анализа неотектоники;

4) морфологические особенности рельефа земной поверхности, а также иных контрастных геологических поверхностей раздела отражают вертикальные и горизонтальные перемещения этих поверхностей и степень современной деформации недр. Учет особенностей современной кинематики естественных движений в верхней части земной коры увеличивает точность прогнозных геодинамических построений на локальном уровне;

5) геодинамические факторы, определяющие напряженно-деформированное состояние породных массивов и в конечном итоге степень удароопасности горных объектов, обладают иерархической соподчиненностью (от общего к частному, от площади к точке);

б) в качестве основы комплексной интерпретации допустимо принять материалы о деформациях поверхности дневного рельефа земной поверхности, поскольку в условиях региона они наиболее полно и достоверно изучены и отражают характер неотектонических событий разных масштабных уровней.

Последнее положение базируется на том, что гипсометрия поверхности Земли на всей территории изучена как наземными, так и дистанционными методами равномерно и в разных масштабах. Это позволяет применять современные программные продукты для целенаправленной индикации новейших тектонических процессов.

Методика морфоструктурного анализа рельефа земной поверхности хорошо разработана применительно к различным природно-геологическим условиям России [8]. Многие известные исследователи неотектоники активно занимались анализом возможностей метода и совершенствованием технологии работ. В результате доказано, что морфологические особенности рельефа тесно увязываются с современными деформациями земной коры, а также вертикальными и горизонтальными ее перемещениями. Исходные материалы о высотных отметках поверхности Земли имеют разную детальность и получены разнообразными методами. Это позволяет на каждой стадии работ рассматривать только те элементы рельефа, которые имеют размерность, необходимую на текущем этапе обработки. Благоприятной посылкой для использования морфоструктурного анализа является также и то обстоятельство, что горообразование по всей территории Азии датируется плиоцен-плейстоценовым временем, т. е. близко к исторической эпохе. Именно это позволяет реализовать определенный (последовательный) порядок выполнения работ, которые нацелены на выделение современных активных структурных элементов разного иерархического уровня и природы, опираясь на достоверный исходный материал. Области разного напряженно-деформированного состояния выделяют по встречаемости разнообразных признаков, характеризующих это состояние. Результаты исследования НДС территории предпочтительно представлять в виде серии моделей, обладающих определенной преемственностью в распределении полей напряжений на разных масштабных уровнях:

а) **обзорная модель современного напряженно-деформируемого состояния верхней части разреза Амурской литосферной плиты.** Создается с целью определения влияния регионального фона конкретных районов и его обусловленностью позицией изучаемых объектов в неотектонических структурах плиты;

б) **модель блока верхней части разреза,** вмещающего рудный район (масштаб 1 : 1 000 000 – 1 : 100 000). Создается с целью изучения напряженного состояния недр региона на современном этапе развития территории и выявления закономерностей, определяющих изменения регионального фона;

в) **модель геоблока,** где локализовано рудное поле месторождения (масштаб 1 : 50 000 – 1 : 10 000). Создается с целью уточнения деталей естественного поля “растяжения – сжатия” в районе месторождения, влияющих на общее взаимодействие природной и техногенной систем;

г) **модель рудовмещающей структуры месторождения** либо его отдельных рудных тел (масштаб 1 : 2000 и крупнее). Составляется для изучения закономерностей взаимодействия природной и техногенной систем в пределах шахтного поля или его участков для выявления закономерностей развития геодинамических процессов.

Общий алгоритм исследования можно представить в виде следующих этапов:

— получение исходных 3D региональных моделей литосферы и земной коры для решения прямой задачи геомеханики (расчеты полей напряжений);

— получение локальных 3D моделей верхней части земной коры (уровень рудного района) для решения прямой задачи геомеханики;

— получение 3D модели объекта горных работ, верификация ее данными эксперимента, решение на базе уточненной модели задач по возможному изменению напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта (прогнозные решения) в результате взаимодействия с создаваемой горнотехнической системой.

Методические разработки по созданию 3D региональных моделей литосферы и земной коры проведены в период построения тектонической карты масштаба 1:1 500 000 [9]. При создании локальных 3D моделей верхней части земной коры [10] (уровень рудного района) применяется весь комплекс имеющихся геолого-геофизических данных с последующей обработкой пакетом программ “КАСКАД 3D”.

При реализации предлагаемого подхода к формированию информационных моделей в конкретных условиях Амурской литосферной плиты важную роль играют геоморфологические данные. Связано это с тем, что современные деформации земной коры в районах массового ведения горных работ в общем виде могут быть реконструированы при помощи морфоструктурной интерпретации карт рельефа поверхностей, ограничивающих разные слои либо структурные ярусы и лито-стратиграфические горизонты, а также карт вариаций мощностей этих слоев. Объемность информации (в виде карт изогипс, изопакит, оттененных карт рельефа, снимков поверхности рельефа с изменяющимся положением точки наблюдения, варьированием масштабами и т. п.) дает возможность делать выводы также о динамике современного деформационного процесса. При таком способе интерпретации исходное поле высот может быть разделено на составляющие, которые опосредованно отражают разные аспекты напряженно-деформированного состояния тех или иных участков территории, т. е. по существу возникает возможность использовать подходы, которые приняты при трансформациях геофизических полей.

В процессе изучения НДС рудных районов обнаруживаются новые познавательные особенности карт полей высот масштаба 1 : 200 000 и крупнее. По сравнению с мелкомасштабными материалами они содержат более детальную информацию о динамике и взаимосвязи неотектонических движений в верхней части разреза, отражая различные геодинамические особенности тех или иных частей района. Качество информации, извлекаемой на крупномасштабной стадии изучения, существенно возрастает за счет появления возможности для широкого привлечения объемных методов анализа рельефа, а также возможности комплексной увязки данных морфоструктурного анализа с геологическими, геофизическими материалами и результатами его геомеханического изучения, которые накоплены при разведке и эксплуатации месторождения. В свою очередь, это позволяет выявлять (уточнять) современную кинематику разноранговых разломов и блоков, определять вертикальные и горизонтальные неотектонические перемещения, а также обнаруживать активность тектонических элементов разного масштабного уровня.

Для оценки региональной составляющей НДС верхней части литосферы привлечены результаты дистанционных исследований земной поверхности (радарные снимки) с их последующей специализированной обработкой [11]. Применение пакета программ WinLessa [12] позволило установить области с относительно максимальными значениями НДС (максимальные значения плотности элементарных штрихов, полученных с обработанного космоснимка).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании данных о современном геодинамическом состоянии Азиатского континента территория Амурской плиты (геоблока) почти полностью отнесена к области сжатия, которая вдоль границ плиты с перерывами оконтурена локальными областями: с северо-запада — обла-

стью растяжения, с юго-запада — областью сдвига, с севера — областью сжатия со сдвигом [3, 7]. В работе [7] приведена современная блоковая схема плиты, построенная по материалам морфоструктурной интерпретации топографических карт, на которой показаны сейсмогенерирующие модельные разломы и позиция удароопасных месторождений. На блоковой схеме отражены: направления векторов наибольшего горизонтального сжатия и векторы современных горизонтальных перемещений поверхности земной коры, которые установлены по результатам инструментальных измерений. В качестве подготовительного этапа построения обзорной модели проведено сопоставление схем между собой [3, 7]. При этом оказалось, что все изученные месторождения, кроме Хинганского, располагаются в пределах области, где современная тектоническая ситуация характеризуется как обстановка сжатия ($\sigma_x > \sigma_y > \sigma_z$), что не всегда соответствует соотношениям главных напряжений в массивах эксплуатируемых здесь месторождений, параметры которых определены по результатам шахтных измерений (таблица) [6, 13, 14]. Это несоответствие объясняется тем, что детальность упомянутой региональной геодинамической карты является недостаточной для прогнозной оценки напряженного состояния и удароопасности массивов разрабатываемых месторождений. Кроме этого, при простом сопоставлении не удается учесть разную масштабность исследуемых объектов.

Результаты натурных измерений максимальных напряжений в горных массивах месторождений Амурской плиты, склонных или опасных по горным ударам [6, 13, 14, 23]

Месторождение	Глубина разработки, м	Максимальное напряжение сжатия, МПа	Соотношение главных напряжений ($\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3$)
Николаевское	900	50–80	2.5 : 1.5 : 1
Южное	500	40–70	1.8 : 1 : 1
Восток-2	500	30–50	2.5 : 1.3 : 1
Перевальное	400	40	2 : 1 : 1
Хинганское	650	50–70	3 : 1 : 1
Антей	800	50–100	2.5 : 1.4 : 1
Дарасунское	700	27	1.7 : 1.3 : 1
Ирокиндинское	200	11	1.3 : 1.2 : 1

Проблеме изучения региональной составляющей напряженного состояния верхней части земной коры посвящен ряд работ [6, 15–17 и др.]. Наиболее распространенным способом оценки является численное моделирование методом конечных элементов. Результаты моделирования отображаются в виде карт ориентировки и соотношения главных горизонтальных напряжений, рассчитанных по регулярной сети точек. Например, по этой методике построена карта восточной части Амурской плиты [6]. Вычисленное соотношение главных горизонтальных напряжений на этой территории изменяется от 1.1 до 1.57. В том случае, когда величина сил (T), действующих по периметру исследуемой территории, достоверно неизвестна, абсолютные значения напряженного состояния в точке вычисляются в долях T [16]. В условиях Балтийского щита оценочные значения интенсивности сжатия достигают $2T$, а растяжения — $0.9T$ [16]. Карты напряженного состояния в изолиниях строят гораздо реже [17]. Например, в пределах Нижнеканского гранитоидного массива интенсивность напряжений колеблется от 25 до 80 МПа, а сечение изолиний принято равным 10 МПа. Для целей последующего районирования территории по НДС получение результатов расчетов в виде изолиний является наиболее удобным. Однако подобных материалов для территории Амурской плиты пока нет. Имеются лишь площадные оценки [18], согласно которым максимальные касательные напряжения в земной коре

Амурской плиты варьируют от 10 до 70 МПа. Исходя из изложенного, а также данных таблицы, разброс ожидаемых значения σ_i в верхней части земной коры Амурской плиты может составлять от 20 до 100 МПа.

Таким образом, к настоящему времени проблема изучения региональной составляющей напряженно-деформированного состояния недр Амурской плиты еще не решена с той детальностью, которая необходима для исследования закономерностей взаимодействия природных и техногенных систем в районах интенсивного ведения горных работ. Этим определяется актуальность привлечения дополнительных методов исследования, которые нацелены на уточнение деталей современного поля “сжатия – растяжения” на разных масштабных уровнях.

Рассмотрим некоторые информационные модели, которые построены с использованием предлагаемого подхода. Они помогут существенно уточнить особенности современной геодинамической ситуации в районе удароопасных месторождений региона. На рис. 1 приведена информационная модель регионального напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, созданная по результатам интерпретации данных дистанционного изучения рельефа земной поверхности (с использованием радарных спутниковых снимков). В условных обозначениях к этому и другим рисункам с учетом изложенного дана оценка прогнозируемых величин сжатия для каждого основного элемента информационной модели.

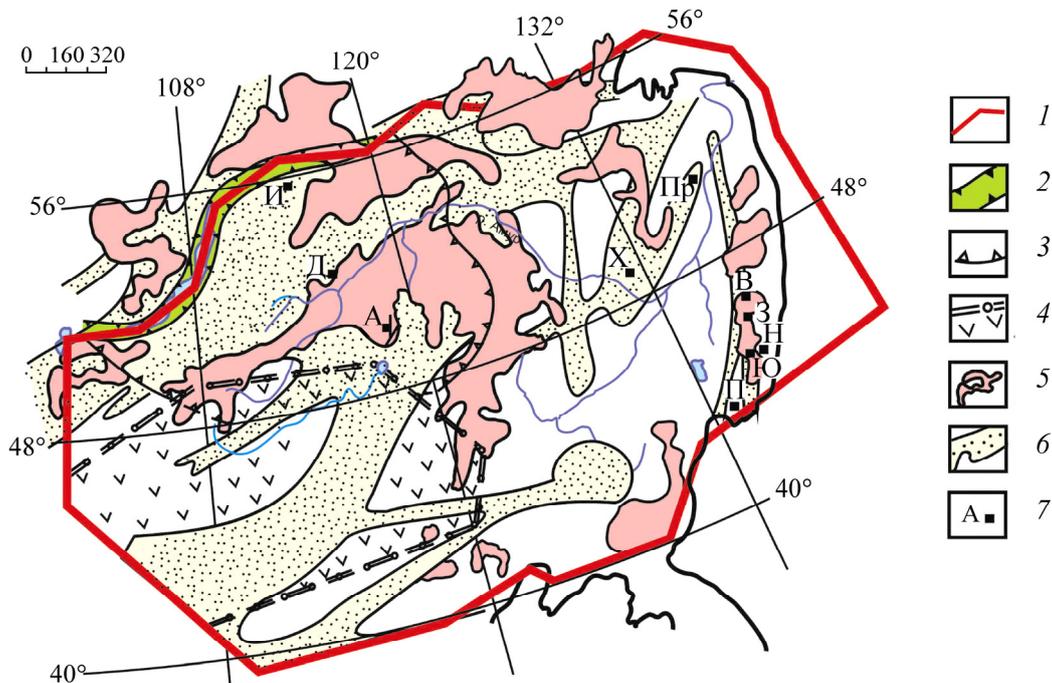


Рис. 1. Обзорная информационная модель современного напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры Амурской плиты по данным [19–22]: 1–5 — главные элементы, определяющие современный внутриплитный геодинамический режим: 1 — модельные сейсмогенерирующие разломы обрамления Амурской плиты; 2 — Байкальская рифтовая зона; 3 — внешний контур Байкальского тектонического потока; 4 — относительно стабильный участок плиты со слабым проявлением позднего орогенеза; 5 — области интенсивного современного сжатия с прогнозируемой интенсивностью более 50 МПа, проявленные повышенной плотностью минимальных линеаментов рельефа земной поверхности (штрихов); 6 — области относительной тектонической нарушенности земной поверхности с прогнозируемой интенсивностью сжатия от 10 до 50 МПа, проявленные повышенной плотностью линеаментов; 7 — положение удароопасных рудных месторождений (Н — Николаевское; Ю — Южное; П — Партизанское; З — Забытое; В — Восток-2; Пр — Перевальное; Х — Хинганское; А — Антей; Д — Дарасунское; И — Ирокиндинское)

Как видно, тектоническая нарушенность пород верхней части земной коры Амурской плиты, выраженная в современном рельефе, затухает в восточном и юго-восточном направлениях. Эту закономерность можно объяснить увеличением в этих же направлениях доли площадей, которые в упомянутой части разреза земной коры заняты более пластичными осадочными и туфогенно-осадочными породами (в том числе слагающими мезо-кайнозойские впадины). Территория плиты отчетливо разделилась на два блока I порядка: западный блок — Забайкальский и восточный — Амурско-Приморский [7]. В западном блоке верхняя часть разреза интенсивно нарушена и напряжена, а в восточном — подобные площадные процессы фиксируются лишь вдоль северной границы плиты либо по некоторым крупным разломным зонам. На конфигурацию областей интенсивного сжатия здесь оказывает влияние современный жесткий блок [7, 19] Амурской плиты (см. рис. 1), что подчеркивается их окаймляющей дугообразной формой. Максимальные площади этих областей закономерно группируются по периферии жесткого блока Амурской плиты, а также вдоль ее северной границы. Некоторой специфичностью отличается восточная часть территории. Здесь в линейных зонах Сихотэ-Алинского орогенного пояса выделяются относительно небольшие участки современного сжатия. Сопоставление описываемой модели с данными таблицы показывает, что полученный вариант районирования территории по современному напряженному состоянию лучше согласуется с локальными натурными измерениями, чем с материалами предшественников [3].

Схожую морфологию и близкие площадные размеры имеют прогнозируемые глубинные зоны сжатия, которые совпадают с участками повышенной мощности литосферного слоя (рис. 2). Кроме того, здесь представлена дополнительная информация, которая позволяет судить о выраженности глубинной структуры плиты в геодинамических элементах, установленных по геологическим наблюдениям на поверхности.

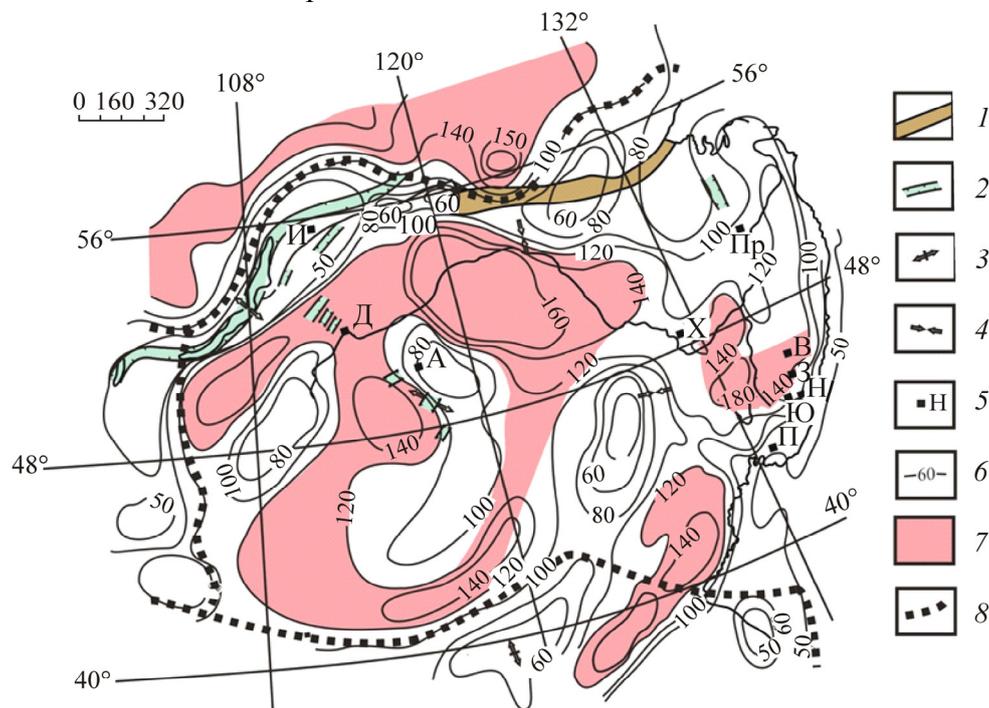


Рис. 2. Схема морфологии подошвы литосферного слоя Амурской плиты с элементами современной геодинамики в верхней части земной коры: 1 — межгорные впадины; 2 — современные рифтовые зоны; 3 и 4 — участки, где зафиксировано современное растяжение и сжатие земной коры соответственно; 5 — удароопасные месторождения (наименования см. на рис. 1); 6 — изопохиты литосферного слоя; 7 — прогнозируемые области сжатия литосферного слоя; 8 — глубинная граница Амурской плиты

Совместный анализ обзорных информационных моделей, приведенных на рис. 1 и 2, убеждает в значительном вкладе эндогенной (глубинной) составляющей в формирование поля напряжений на верхних уровнях земной коры. О существенном влиянии глубинной структуры исследуемой территории на поля напряжений горно-геологических объектов свидетельствуют результаты работ следующего этапа по Центральному Сихотэ-Алинскому полигону, где расположена группа отличающихся друг от друга удароопасных месторождений (Николаевское, Южное, Забытое и Восток-2) [22]. Здесь при построении информационной модели, помимо геоморфологических данных, использованы результаты расчетов полей напряжений, основанные на измерениях спутниковых аномалий геоида (проект GRACE). По результатам выполненных работ создана более детальная информационная модель блока, вмещающего рудные поля названных месторождений (рис. 3).

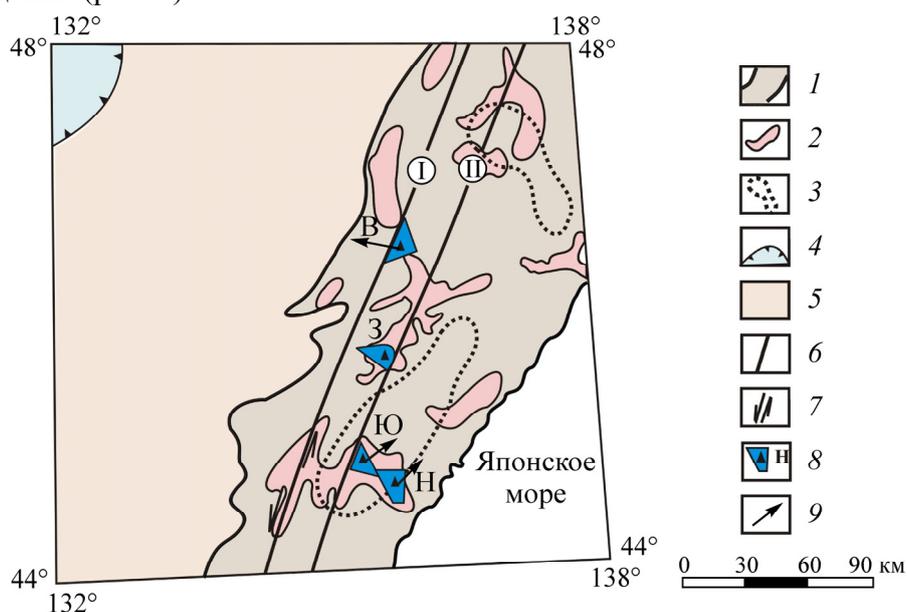


Рис. 3. Информационная модель Центрального Сихотэ-Алинского полигона, отражающая современное напряженно-деформированное состояние верхних уровней земной коры: 1–5 — области с разным геодинамическим состоянием: 1 — область сжатия с прогнозируемой интенсивностью 20–50 МПа, выделяемая по повышенной плотности линеаментов; 2 — участки интенсивного сжатия с прогнозируемой интенсивностью более 50 МПа, выделяемые по повышенной плотности элементарных линейных линеаментов (штрихов модуля градиента рельефа); 3 — линейные участки максимальных значений локального поля напряжений, выделенные по результатам измерений спутниковых аномалий геоида; 4 — области растяжения; 5 — относительно стабильные области; 6 — главные активные разломы в пределах области сжатия: I — Центральный Сихотэ-Алинский сдвиг; II — разлом формируемый в новейшее время (по положению соответствует известным Кавалеровскому и Арминскому разломам); 7 — направление современного перемещения по разломам по данным GPS-измерений; 8 — элементарные домены рельефа земной поверхности, отвечающие рудным полям изученных месторождений (Н — Николаевское, Ю — Южное, З — Забытое, В — Восток-2); 9 — направление вектора наибольших горизонтальных напряжений, установленное по результатам измерений в подземных горных выработках

Промежуточные исходные карты опубликованы в [22]. В этой связи далее остановимся только на описании информационной модели следующего масштабного уровня (рис. 3), а также на полученных новых результатах. Как видно из сопоставления рис. 1 и 3, полигон пространственно приурочен к южному ареалу области регионального современного сжатия, соответствующей горному сооружению Сихотэ-Алия. От остальной территории полигона область отличается повышенной неотектонической активностью, которая выражается аномальной на-

рушенностью геологической среды линеаментными структурами и серией пространственно сближенных участков с повышенной плотностью штрихов модуля градиента рельефа. На территории полигона область имеет два относительно глубинных линейных центра сжатия, которые фиксируются максимальными положительными значениями локального поля напряжений, рассчитанных по результатам измерений спутниковых аномалий геоида. При детализации установлено, что в составе области сжатия достаточно обоснованно выделяются локальные участки более интенсивного сжатия, которые преимущественно “нанизаны” на главные активные разломы и имеют различную ориентировку, а также морфологию. Разломы разделяют описываемую зону на блоки (см. рис. 3), в пределах которых направление главного горизонтального сжатия горного массива существенно изменяется. Так, в пределах восточного блока, где расположены месторождения Николаевское и Южное, в подземных горных выработках установлено, что вектор наибольшего горизонтального сжатия ориентирован в ССВ направлении, а в западном блоке (месторождение Восток 2) — в субширотном направлении. В первом случае это согласуется с общей ориентировкой Тихоокеанского орогенного пояса, а также длинной осью линейного участка максимальных значений локального поля напряжений, выявленного по результатам измерений спутниковых аномалий геоида, во втором — с направлением Центрально-Азиатского орогенного пояса.

Таким образом, установленный на первом этапе моделирования единый ареал интенсивного сжатия, который охватывает район исследованных месторождений (см. рис. 1), при более детальном изучении распался на несколько разобренных локальных участков. Кроме того, удалось выделить домены каждого месторождения и показать их специфическую позицию как по отношению к этим локальным участкам, так и к современным активным тектоническим структурам района. Полученные материалы свидетельствуют, что локальные участки интенсивного сжатия отличаются друг от друга как по площадным размерам и морфологии, так и по ориентировке относительно активных разломов (рис. 3).

Специфичность позиции каждого из изученных месторождений на информационной модели лучше объясняет реальную удароопасность объекта, которая определена по результатам геомеханического изучения подземных горных выработок. По этим результатам для рассматриваемых месторождений устанавливается следующий латеральный ряд возрастания интенсивности поля напряжений: Восток 2 → Забытое → Николаевское → Южное. Приведенная на рис. 3 модель иллюстрирует приуроченность наиболее удароопасных объектов полигона (месторождения Николаевское и Южное) к единому локальному участку интенсивного сжатия, который пространственно тяготеет к крупному активному разлому со сдвиговой кинематикой. Уникальность позиции именно этого участка определяется его расположением в пределах аномалии максимальных значений локального поля напряжений, выявленной по спутниковым измерениям геоида.

Таким образом, с увеличением детальности моделирования происходит сближение результатов региональных и локальных геодинамических исследований. Кроме того, на средне- и крупномасштабной стадии изучения НДС площадей более ярко проявляются новые познавательные особенности карт полей высот. В частности, появляется возможность использовать объемность информации, которая заключена в картах изогипс, изопахит, оттененных картах рельефа, а также снимков поверхности с изменяющимся положением точки наблюдения. В свою очередь, это позволяет выделять структурные элементы, связанные с горизонтальными перемещениями, которые трудно выявляются другими методами площадного изучения (надвиги, шарьяжи, места сучивания тектонических пластин и тому подобные геодинамические ситуации). При получении сведений о преобладающем направлении горизонтальных перемещений (в дополнение к материалам по GPS — измерениям на территории) появляется возможность существенно уточнить динамику современного деформационного процесса.

Следующий этап информационного моделирования (домен рудного поля месторождения) является наиболее трудным и ответственным, поскольку при его исполнении необходимо выполнить содержательную увязку ранее полученной информации и разнообразных данных (геолого-структурных, геомеханических, геофизических), которые накоплены в процессе разведки и эксплуатации объекта. На этом этапе значительное влияние на детализацию участков современного “сжатия – растяжения” будет оказывать учет более мелкой тектоники территории исследования (чешуйчатые веера, сбросы, сдвиги, надвиги, присдвиговые дуплексы, кинематика отдельных блоков и т. п.), а также состав горных пород и вариация их физико-механических свойств. Методика интерпретации поля высот также претерпит некоторые изменения, поскольку потребуются использовать более подробные топографические карты местности.

Рассмотрим пример подготовки к построению крупномасштабной информационной модели Стрельцовского рудного узла, расположенного в Забайкальском блоке Амурской литосферной плиты. Рудный узел локализован в пределах мезозойской Тулукуевской кальдеры (соответствует области расположения месторождения Антей, показанного на рис. 1 и 2). Месторождение Антей залегает в структурах гранитоидного фундамента кальдеры. Геолого-структурная и геомеханическая ситуация на месторождении подробнее описана в [6, 24, 25]. Региональное поле напряжений этой территории уточнено в [19, 21, 22]. Информационные структурно-масштабируемые модели предыдущих уровней позволили оценить современное напряженно-деформированное состояние данной территории как очень напряженное. Цель моделирования на текущем этапе — выделить неотектоническую структуру, ответственную за современное напряженно-деформированное состояние изучаемого участка рудного поля, где осуществляется комплексный геомеханический контроль. Исходными материалами для составления информационной модели этого уровня послужили карта рельефа земной поверхности и карта рельефа кровли погребенного фундамента (обе масштаба 1: 25 000).

Известно, что любые горизонтальные и вертикальные механические перемещения находят отражение в пологозалегающих слоистых средах. Они фиксируются изменением гипсометрии поверхностей раздела и их морфологии [8]. Это служит основанием для применения морфоструктурного анализа карт рельефа подобных поверхностей для решения задачи изучения напряженно-деформированного состояния горно-геологической среды с последующей локализацией площади геомеханического контроля на эксплуатирующихся месторождениях. По данному вопросу максимальное количество новой информации получено при интерпретации карты рельефа погребенного фундамента. Объясняется это тем, что начиная с верхней юры и до настоящего времени рельеф основания кальдеры перекрыт мощной слоистой толщей и не искажался эрозионными процессами, которые являются активными агентами преобразования рельефа земной поверхности. По этой причине морфология погребенной поверхности раздела содержит неискаженную интегральную информацию о деформационных тектонических процессах, в том числе и исторического этапа развития. В этой связи карта рельефа погребенного фундамента выглядит существенно более изрезанной и структурно упорядоченной, чем карта рельефа дневной поверхности.

В морфологии кровли погребенного фундамента отчетливо дешифрируется крупное положительное кольцевое сооружение, обособившееся во внутренней части кальдеры на заключительных этапах ее развития. В состав сооружения на севере входит блок, вмещающий месторождения Стрельцовское и Антей, который характеризуется интенсивно изрезанной кровлей фундамента (площадь 30–40 км²), а на юге — блок с выровненной поверхностью кровли, который на земной поверхности венчает самое значительное современное горное сооружение района. Крупные опущенные полигональные блоки фундамента располагаются к западу от упомянутого внутреннего кольцевого сооружения (рис. 4).

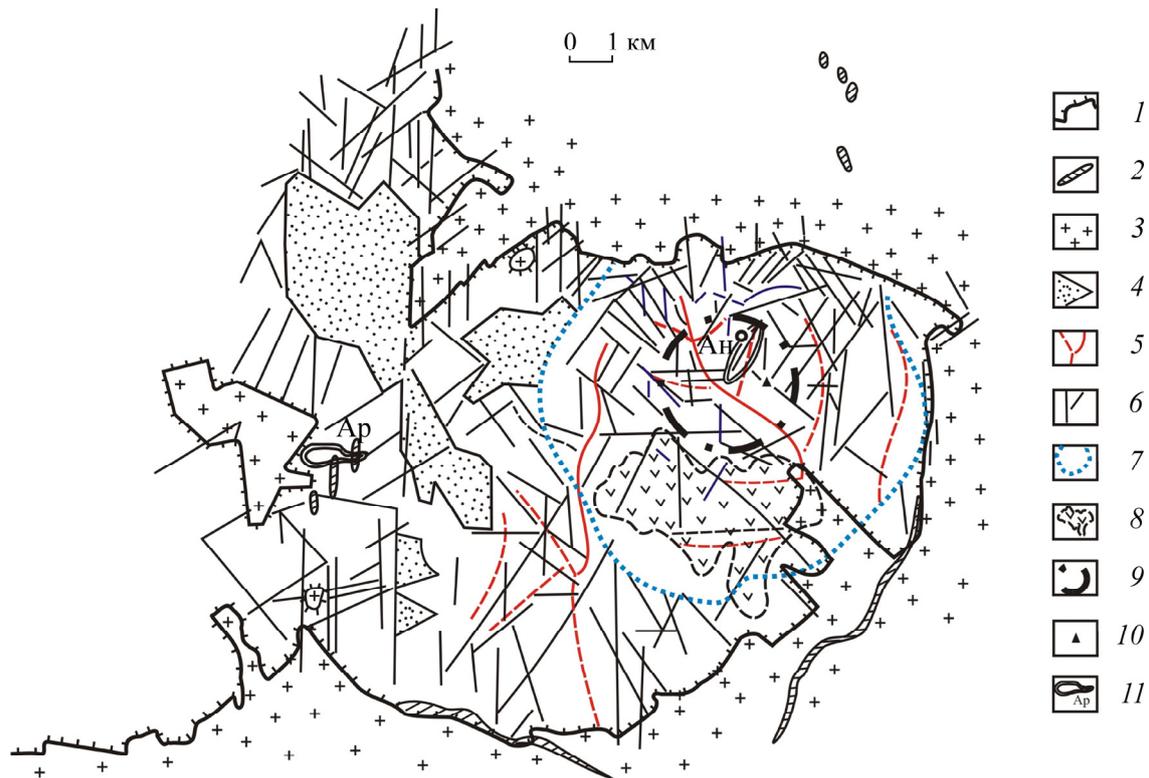


Рис. 4. Морфоструктурная интерпретация карты изолиний рельефа погребенного фундамента Тулукуевской кальдеры: 1 — контур вулканитов (лавы фельзитов, кварцевых порфиров трахидаци- тов, андезитов и базальтов, перемежающиеся с конгломератами, туфопесчаниками и туфами — бергштрихи в сторону вулканитов); 2 — дайки и субвулканические экструзивные тела в краевых кольцевых разломах кальдеры; 3 — нерасчлененные породы кристаллического основания кальде- ры; 4 — наиболее опущенные блоки фундамента; 5 — линейные локальные выступы фундамента (сплошная линия — основные, штриховая — второстепенные); 6 — предполагаемые наиболее поздние разломы, выраженные линейными градиентами изолиний кровли погребенного фунда- мента; 7 — структурно обособившееся внутреннее кольцевое сооружение кальдеры с современным режимом сводового типа; 8 — наиболее поднятый блок современного дневного рельефа; 9 — об- ласть комплексного геодинамического контроля в горных выработках месторождений Антей и Стрельцовское; 10 — местоположение лазерного деформографа; 11 — рудные залежи: Ан — Ан- тей; Ар — Аргунское

По данным деформационных наблюдений на руднике “Глубокий”, кольцевое сооружение продолжает испытывать подъем и в настоящее время. Данный процесс определяет геодинами- ческую ситуацию в более мелких блоках сооружения. Практически все Стрельцовское рудное поле находится в пределах этой тектонически напряженной части Тулукуевской кальдеры. Ха- рактерной чертой этой части является то, что современный сводовый режим ее развития про- исходит на фоне аномального регионального сжатия (см. рис. 1). Последнее, в том числе, обу- словлено горизонтальным перемещением Байкальского тектонического потока в юго-восточ- ном направлении. Как видно (см. рис. 4), создаваемый в районе Стрельцовского рудного узла геодинамический полигон располагается в центральной части внутреннего кольцевого соору- жения кальдеры, ответственного за геодинамическую ситуацию в пределах изучаемого рудного поля. Следовательно, в современной структуре рудного узла позиция области комплексного геодинамического контроля выбрана удачно.

ВЫВОДЫ

Принципиальные основы комплексной интерпретации данных для условий Амурской литосферной плиты, полученные с помощью разных методов исследования НДС земных недр, направлены на выделение современных геодинамически активных зон и создание разномасштабных информационных моделей в районах интенсивного крупномасштабного ведения горных работ.

Предлагаемый подход имеет широкие возможности, которые в конкретных условиях территории представляют различные модификации морфоструктурного анализа рельефа. С использованием нового исходного материала построены информационные модели некоторых типовых горнодобывающих территорий, учитывающие неотектонические особенности верхних горизонтов земной коры. При построении моделей использовалась совокупность факторов, которая опосредованно отражает условия формирования естественного поля “растяжение – сжатие” на новейшем этапе.

Преимуществом созданных моделей является их открытость для последующего пополнения, а также их хорошая сходимос ть с геомеханическими данными, полученными при изучении подземных горных выработок. Кроме того, последовательное моделирование позволяет накапливать знания о взаимообусловленном поле природных деформационных процессов разного масштабного уровня с тем, чтобы при оценке динамической опасности конкретных участков шахтного поля эксплуатируемого месторождения учесть особенности его региональной и районной позиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). — М.: ИНЭК, 2005.
2. Айтматов И. Т., Ялымов Н. Г., Степанов В. Я. Геомеханика массивов горно-складчатых областей // Напряженное состояние породных массивов, техногенная геодинамика недр, геоэкология горных районов: избр. тр. И. Т. Айтматова. — Бишкек: Илим, 2008.
3. Леви К. Г., Шерман С. И., Саньков В. А. и др. Карта современной геодинамики Азии. Масштаб 1: 5 000 000. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007.
4. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. — М.: Ростехнадзор, 2013.
5. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. — М.: Недра, 1996.
6. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Горн. книга, 2008.
7. Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Довбнич М. М. Проблемы изучения современного напряженного состояния верхних уровней земной коры во внутренних областях тектонических плит // Науч. вестн. НГУ. — Днепропетровск, 2011.
8. Волчанская И. К., Кочнева Н. Т., Сапожникова И. Н. Морфоструктурный анализ при геологических и металлогенических исследованиях. — М.: Наука, 1975.
9. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объясн. зап. к тектон. карте масштаба 1:1500000. — Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005.
10. Шевченко Б. Ф., Горошко М. В., Диденко А. Н., Гурьянов В. А., Старосельцев В. С., Сальников А. С. Глубинное строение, мезозойская тектоника и геодинамика области сочленения восточной части Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы // Геология и геофизика. — 2011. — Т. 52. — № 12.

11. **Гильманова Г. З., Шевченко Б. Ф., Рыбас О. В., Диденко Е. Ю., Головей С. В.** Линейные геологические структуры юга Алдано-Станового щита и восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса: геодинамический аспект // Тихоокеанская геология. — 2012. — Т. 31. — № 1.
12. **Zlatopolske A.** Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA, Computers&Geosciences, 1997, Vol. 23, No. 1.
13. **Потапчук М. И., Курсакин Г. А., Сидляр А. В.** Повышение безопасности разработки удароопасных жильных месторождений Восточного Приморья // Горн. журн. — 2013. — № 10.
14. **Саксин Б. Г., Рассказов И. Ю.** Принципы геодинамической типизации удароопасных рудных месторождений Амурского геоблока // Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы IV Всерос. науч. конф. с участием иностр. ученых. Т. 1. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2011.
15. **Назарова Л. А., Назаров Л. А., Дядьков П. Г.** Математическое моделирование кинематики плит Центральной Азии // ФТПРПИ. — 2002. — № 5.
16. **Филатов В. Т.** Роль напряженно-деформированного состояния коры при локализации тектоно-магматических процессов северо-восточной части Балтийского щита // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 12.
17. **Морозов В. Н., Колесников И. Ю., Белов С. В., Татаринов В. Н.** Напряженно-деформированное состояние Нижнеканского гранитоидного массива — района возможного захоронения радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2008. — № 3.
18. **Гзовский М. В.** Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975.
19. **Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Петров В. А., Шевченко Б. Ф., Усиков В. И., Гильманова Г. З.** Современное напряженно-деформированное состояние верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты // Физика Земли. — 2014. — № 3.
20. **Шевченко Б. Ф., Гильманова Г. З., Рыбас О. В.** Геодинамика и линеаментные структуры Амурской тектонической плиты // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. — Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011.
21. **Усиков В. И.** Динамика и строение тектонических потоков. Анализ 3D-моделей рельефа // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. — Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011.
22. **Шевченко Б. Ф., Саксин Б. Г., Гильманова Г. З., Довбнич М. М.** Региональные геодинамические особенности рудных районов Забайкалья и Дальнего Востока России // ГИАБ. — 2013. — № 0В4.
23. **Сосновский Л. И.** Управление геомеханическими процессами на золоторудных месторождениях // Вестн. ИрГТУ. — 2006. — № 3.
24. **Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Петров В. А., Просекин Б. А.** Геомеханические условия и особенности проявлений горного давления на месторождении Антей // ФТПРПИ. — 2012. — № 3.
25. **Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Шабаров А. Н., Святецкий В. С., Просекин Б. А.** Контроль динамических проявлений горного давления при разработке месторождения Антей // Горн. журн. — 2009. — № 12.

Поступила в редакцию 12/XI 2014