

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

УДК 622.831:551.24

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО ПОЯСОВ

И.Ю. Рассказов

Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Рассмотрена проблема численного моделирования современного регионального поля напряжений в сложных геодинамических и сейсмических условиях области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Предложен подход, позволяющий в первом приближении оценивать характер регионального поля напряжений для его учета при геомеханических исследованиях на опасных по горным ударам месторождениях региона. Обсуждаются вопросы, связанные с усложнением расчетной модели на следующих этапах исследований.

Ключевые слова: региональное поле напряжений, численное моделирование, горные удары, рудные месторождения, область сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов.

ВВЕДЕНИЕ

Подземное освоение недр и горное строительство на больших глубинах сопряжены с необходимостью осуществлять работы в условиях опасных проявлений горного давления, как в статической, так и в динамической его формах. Отличительной чертой динамических проявлений горного давления, особенно горных и горно-тектонических ударов, является их внезапность и большая разрушительная сила. Они наносят большой материальный и социальный урон горнодобывающим предприятиям, приводят к длительным (на несколько месяцев) остановкам добычи полезного ископаемого. Это связано с необходимостью выполнения масштабных восстановительных работ на больших площадях шахтного поля. По степени тяжести и негативным последствиям мощные горные и горно-тектонические удары могут быть отнесены к техногенными катастрофам.

Несмотря на усилия многих ученых в России и мире, проблема прогноза и предотвращения опасных динамических проявлений горного давления до настоящего времени сохраняет свою остроту, обусловленную постоянно растущими объемами выработанных пространств, увеличением глубины ведения горных работ и широкой вариацией геотектонических условий мест их проведения.

Характерной особенностью ныне эксплуатируемых удароопасных месторождений, расположенных восточнее оз. Байкал, является их приуроченность к тектонически активным районам земной коры. Данное обстоятельство предопределяет необходимость выявления возможных специфических особенностей решения проблем горной геомеханики и управления горным давлением. Для подобных условий характерен эффект весьма неравномерного напряженного состояния участков массива горных пород, находящегося под воздействием как техногенных, так и неотектонических процессов, что не может не накладывать отпечаток на локальную геодинамическую систему, а, следовательно, и на характер динамических проявлений горного давления.

На геомеханическое состояние разрабатываемого массива горных пород конкретного месторождения оказывает влияние его расположение не только относительно главных структурных элементов земной коры, но и относительно современных сейсмоактивных зон. Необходимо учитывать также особенности геологического строения и структуры рудных полей.

В этих условиях одним из путей решения проблемы горных ударов является построение расчетных моделей, адекватно описывающих сложные геомеханические и геодинамические процессы в массивах горных пород. На этой основе появляется воз-

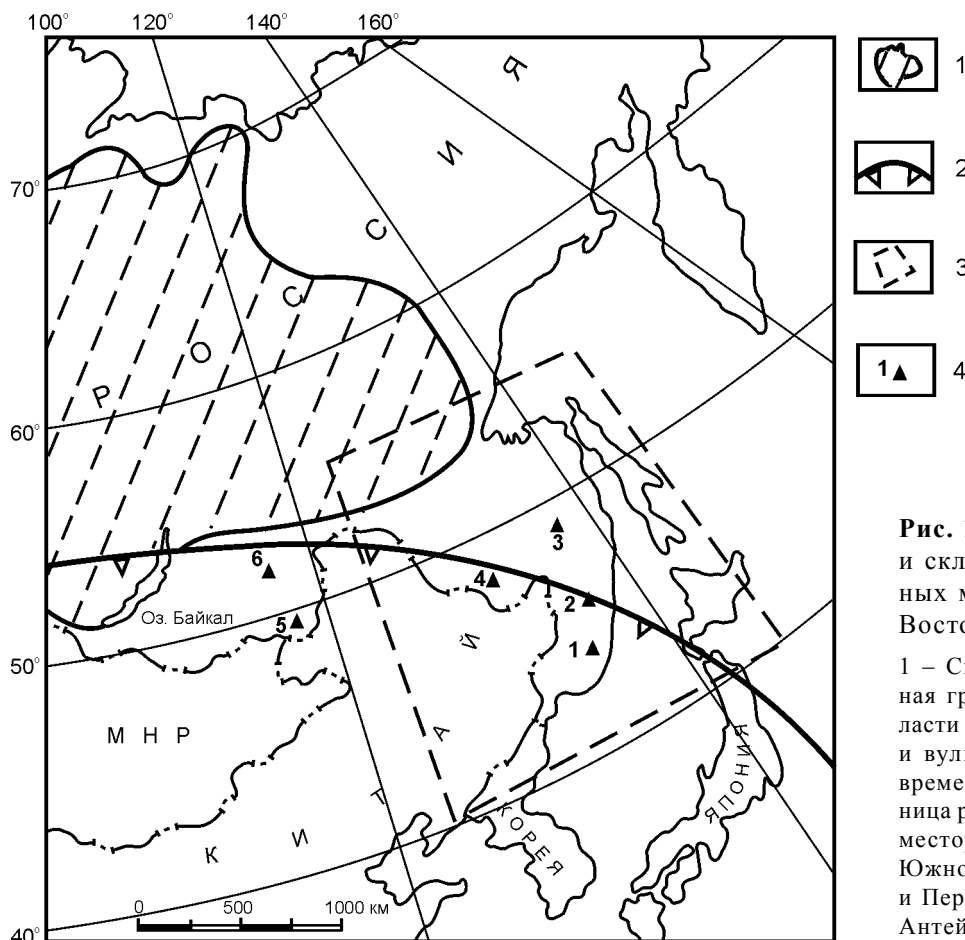


Рис. 1. Общее положение опасных и склонных к горным ударам рудных месторождений юга Дальнего Востока и Забайкалья.

1 – Сибирская платформа; 2 – северная граница Сино-Индонезийской области (СИО) наибольшей сейсмической и вулканической активности Нового времени (по Черкасову Р.Ф.); 3 – граница расчетной области; 4 – положение месторождений: 1 – Николаевского и Южного; 2 – Восток-2; 3 – Солнечного и Перевального; 4 – Хинганского; 5 – Антей; 6 – Дарасунского.

возможность выявлять наиболее общие закономерности формирования природных и техногенных полей напряжений, использование которых существенно повышает надежность прогноза опасных горнодинамических явлений и создает основу для разработки комплекса эффективных мер по их предотвращению.

В настоящей статье описываются результаты моделирования регионального поля напряжений верхней части земной коры в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов, сопоставленные с данными о параметрах напряженного состояния массивов горных пород ряда рудных месторождений юга Дальнего Востока России.

ГЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геологическое строение, структурные особенности и геодинамика территории юга Дальнего Востока России и Забайкалья, в пределах которой расположен целый ряд опасных и склонных к горным ударам рудных месторождений, имеет ряд важных особенностей, отличающих ее от других регионов. Одной из них является приуроченность рассматри-

ваемого участка земной коры к северной границе Сино-Индонезийской области (СИО) наибольшей сейсмической и вулканической активности Нового времени (рис. 1), которую в качестве планетарной глубинной структуры впервые выделил Р.Ф. Черкасов в 2004 г. По данным этого автора [29], СИО занимает 6 % поверхности Земли. Однако в ее пределах случилось до половины известных сильнейших землетрясений и вулканических извержений, в результате которых погибло больше людей, чем на остальной части Земли. Это единственная крупная изометричная активная область Нового времени, глубинной причиной возникновения которой считается смещение субъядра с центра Земли (эксцентризация субъядра).

Исследуемый регион характеризуется также еще одной специфической особенностью – он расположен в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов на юго-восточной периферии Сибирской платформы (или Северо-Азиатского кратона, по Л.М. Парфенову и др., 2003) (рис. 2). В соответствии со схемой районирования М.В. Гзовского [2], данная область относится к числу участков

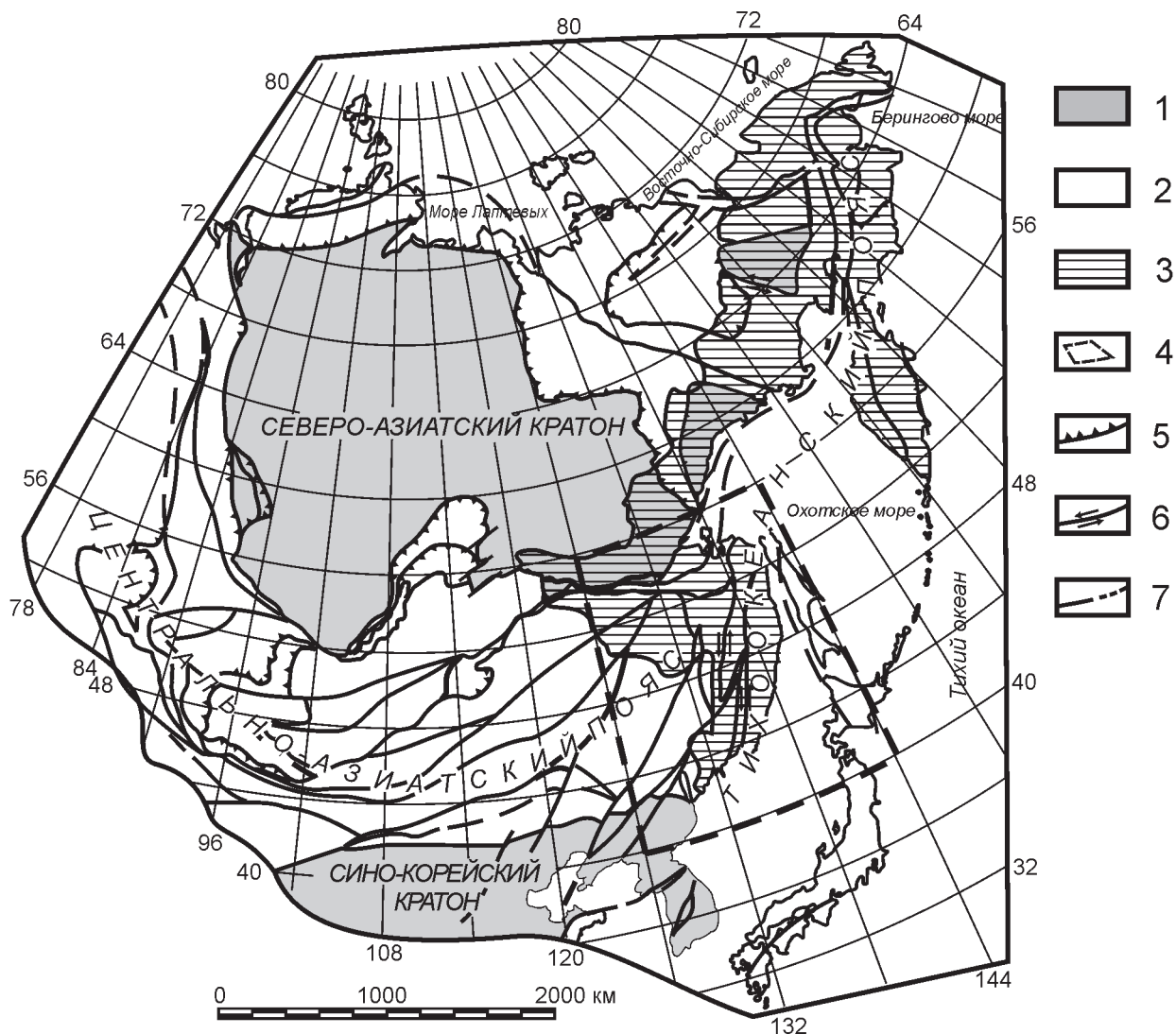


Рис. 2. Положение исследуемой области в структурах Северо-Востока Азии (тектоническая основа по Парфенову и др., 2003, с упрощениями и дополнениями).

1 – кратоны и их фрагменты; 2 – орогенные пояса различного возраста; 3 – российская часть Дальнего Востока; 4 – исследуемая область; 5 – надвиги; 6 – сдвиги; 7 – прочие разломы.

земной коры, характеризующихся одним из наиболее высоких уровней максимальных касательных напряжений. При этом аномальные абсолютные значения верхнего предела максимальных касательных напряжений в земной коре отчетливо контролируются внешним контуром СЮО, а также направлением Тихоокеанского пояса. Исключение составляют участки, перекрытые молодыми осадками (Среднеамурская и Амуро-Зейская впадины).

В работе [2] отмечается, что глубинная структура региона определяется двумя главными факторами: а) взаимодействием тихоокеанской океанической литосферы (литосферных плит) с азиатской

континентальной; б) взаимодействием друг с другом континентальных литосферных плит. По результатам трехмерного моделирования установлено преобладание современных обстановок сжатия в исследуемом регионе.

Активная глубинная геодинамика в мезозое-кайнозое определяла сложные геодинамические процессы: субдукцию, сдвиговые и надвиговые деформации, деструкцию земной коры (включая послонные срывы). Обстановки растяжения в мезозое формировались в осадочных бассейнах и крупных магматических ареалах. Все перечисленные эндогенные геодинамические процессы, так или иначе, влияли на

формирование геологических особенностей и структуры месторождений и рудных полей изучаемой нами части территории России. В результате здесь создавалась очень сложная современная геологическая и геодинамическая ситуация, обусловившая повышенную степень напряженности и удароопасности массивов горных пород, где расположены рудные месторождения.

В качестве первой стадии учета этих особенностей целесообразно выполнить анализ современного поля тектонических напряжений в районе эксплуатируемых месторождений. Ниже подробнее остановимся на одном из вариантов теоретического определения параметров современного поля тектонических напряжений (далее ПТН) и их распределения в массиве горных пород, вмещающих удароопасные месторождения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

Для оценки региональных напряжений в земной коре в последние годы широко применяются численные методы. В рамках проблемы прогнозирования опасных проявлений горного давления при подземном освоении недр исследования современных природных полей напряжений выполнялись для условий Кольского полуострова, Урала, Алтае-Саянской горной области и ряда других регионов [8, 18, 26, 28]. Геотектоническая специфика названных территорий существенно отличается от описанной выше. При постановке задачи моделирования напряженного состояния авторы указанных работ руководствовались следующими рабочими гипотезами: а) региональные поля тектонических напряжений формируются в результате взаимодействия литосферных плит в зонах субдукции, столкновения плит, скольжения и сдвига относительно друг друга; б) земная кора разбита системами разломов различного ранга на блоки, размеры которых изменяются от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров.

Последнее утверждение базируется на блочно-иерархичной модели земной коры М.А. Садовского, согласно которой любой блок определенного порядка (ранга) состоит из более мелких, сам являясь частью более крупного блока. Линейные размеры блоков не произвольны, а формируют дискретный ряд с коэффициентом $3,33 \pm 0,95$ [19]. Система блоков массива горных пород в земной коре находится в постоянном взаимодействии и толчкообразном движении по границам слагающих ее блоков, как в естественных условиях, так и под действием изменения ее

напряженного состояния, вызванного техногенным воздействием [12].

Применительно к изучаемому нами участку земной коры в зоне сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов учет только блоковой составляющей местных тектонических движений, по видимому, не позволит получить полную картину современного поля тектонических напряжений, поскольку для региона характерен сводово-глыбовый характер дислокаций. Однако предлагаемый подход позволит выявить главные характеристики современного поля тектонических напряжений, которые впоследствии могут быть детализированы и уточнены.

Разработка расчетной модели для оценки напряженного состояния участка земной коры, к которому приурочены удароопасные месторождения Дальнего Востока, выполнялась в два этапа. Первый этап включал в себя выбор и обоснование границ расчетной области и выделение ее блочной структуры. Вторым этапом являлось обоснование механических свойств среды и условий нагружения моделируемой области.

В региональном геодинамическом плане месторождения находятся в пределах Амурского геоблока, который, по данным Ф.Г. Корчагина, охватывает юг Сибирской платформы и ее вогнутую часть, начиная от Байкальской рифтовой зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса, захватывает часть Сино-Корейской платформы и Сихоте-Алинский сегмент Тихоокеанского складчатого пояса [5]. При обосновании его границ учитывались, прежде всего, сейсмотектонические и сейсмические данные, отражающие современное напряженно-деформированное состояние земной коры региона. Они несколько отличаются от границ одноименного геоблока, выделяемого Л.И. Красным по структурно-вещественным и геофизическим признакам [6]. Положение границ Амурского геоблока близко к положению границ Амурской литосферной плиты, выделяемой в работах [20, 25].

Для реализации принятого подхода введем некоторые допущения. Линии границ исходного блока в модели отвечают не зонам разломов, а их осевым линиям. Сами же зоны разломов имеют изменяющуюся по простиранию ширину (от десятков до первых сотен километров) при длине более 1000 км. В качестве исходного блока была взята северо-восточная часть Амурского геоблока, северной и восточной границами которого приняты, соответственно, восточный фланг Становой зоны разломов и Сахалино-Хоккайдская зона разломов (рис. 3). Становую зону разломов мы условно продлили до побережья Охотс-

кого моря в субширотном направлении. Основанием для такого решения послужили геофизические данные, согласно которым от северной оконечности острова Сахалин под водами и осадками Охотского моря в северо-западном направлении прослеживаются скрытые сейсмоактивные разломы, которые могут соединять Становую и Сахалино-Хоккайдскую зоны разломов [4, 27]. Возможным северо-западным продолжением этих разломов на континенте является известный Улканский разлом.

В качестве южной границы исходного блока в пределах материка принята Сино-Корейская зона разломов, которую выделяло целый ряд исследователей [6, 9 и др.]. Западная часть этой зоны разломов соответствует Внутренне-Монгольской оси, а восточная – разлому Вэй-бэй [14]. На восточном продолжении этой зоны, под водами и осадочным чехлом впадины Японского моря, вдоль бровки его шельфа и далее на восток до 138° в.д. по геофизическим данным прослеживается субширотный разлом, условно продленный до о. Хоккайдо с целью оконтуривания исходного блока и соединения с Сахалино-Хоккайдской зоной разломов.

Западная граница исходного блока, взятая в качестве опорной, проведена условно вдоль 122° граду-

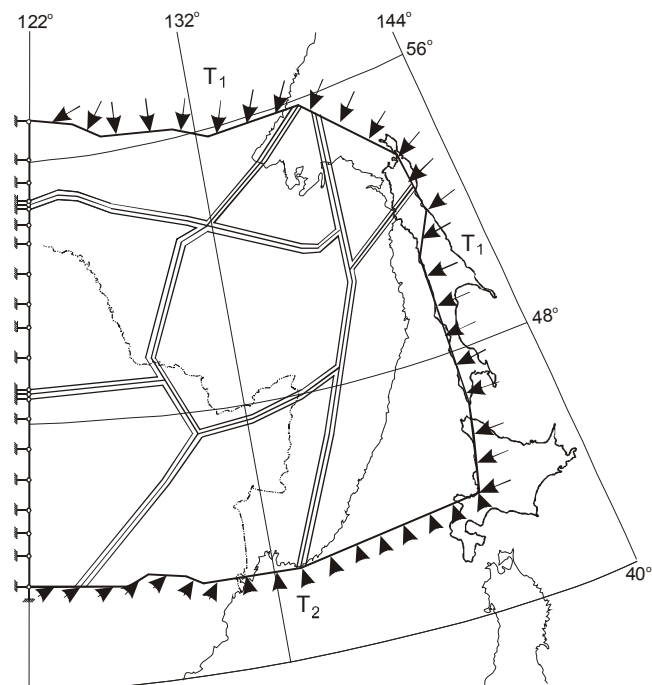


Рис. 3. Расчетная схема для моделирования региональных полей напряжений в пределах восточной части Амурского геоблока.

Пояснения в тексте.

са в.д., исходя из условий и особенностей постановки и решения задачи численными методами.

Мозаичная структура исходного блока (рис. 3) определялась на основе морфометрического анализа с учетом структурно-вещественных и сеймотектонических признаков по методике, изложенной в работе [12]. Всего в пределах исходного блока было выделено 8 аналогичных элементов меньшего ранга. Границами этих блоков являлись глубинные разломы, хорошо выраженные в рельефе и геофизических полях, такие как Сихотэ-Алиньский и Западно-Туранный разломы, зона разломов Тан-Лу и другие. При этом расчетная схема несколько упрощалась, разломы, разделяющие блоки, спрямлялись. На границах между блоками и разломными зонами предполагалось жесткое сцепление без разрыва сплошности. Толщина контактной зоны (тектонического шва) в модели составляла $(2-5) \cdot 10^{-2}$ от линейного размера блока [7]. Модуль деформации (модуль Юнга) материала E_0 , слагающего геоблоки, составляет 10^4 МПа. Модуль деформации геоматериала в разломных зонах $E_p = 10^3$ МПа. Коэффициент Пуассона геоблоков принят равным $\nu_0 = 0,25$, а для разломных зон $\nu_p = 0,3$.

При обосновании условий внешнего нагружения моделируемой области учитывались данные о современной геодинамической активности данного участка земной коры и оконтуривающих ее тектонических зон. Из последних наибольшей геодинамической активностью характеризуются Становая и Сахалино-Хоккайдская зоны разломов, принятые в качестве, соответственно, северной и восточной границ исходного блока.

В неотектоническом отношении Становая зона разломов соответствует осевой части и северному крылу субширотного Станового поднятия, ограниченного с севера Южно-Алданским понижением, а с юга – понижением в бассейне р. Гилуи и Верхне-Зейской впадиной. Поднятие и понижения являются южной частью системы субширотных чередующихся поднятий и опусканий, осложняющих Алдано-Становой свод и сформировавшихся, по мнению ряда авторов [17], в условиях одностороннего сжатия, ориентированного с ЮЗ на ССВ и затухающего в этом направлении. Подвижность рассматриваемой зоны подтверждается совпадающей с ней в плане субширотной полосой очагов землетрясений, прослеживаемой от бассейна среднего течения р. Олекмы до Удской губы Охотского моря и названной Олекмо-Становой сейсмической зоной (ОСЗ) [20]. В рельефе Становая зона разломов совпадает с водораздельной частью и северным склоном одноименного субширотного хребта, а ее ось имеет ломано-ли-

Таблица 1. Параметры фокальных механизмов наиболее крупных землетрясений юга Дальнего Востока.

№ п/п	Дата	Координаты эпицентра, град		Магнитуда	Азимут направления действия главных напряжений, град			Тип подвижки в очаге
		с.ш.	в.д.		σ_1	σ_2	σ_3	
Становая зона разломов								
1	09.04.1971	56,9	133,1	4,4	276	136	30	Взбросо-сдвиг
2	14.06.1971	56,2	123,7	5,9	162	76	252	Левый сдвиг
3	09.08.1972	56,9	127,7	4,9	149	267	2	Взброс
4	01.11.1977	55,9	130,6	4,9	93	224	356	Правый сдвиг
5	27.04.1979	55,9	130,5	4,5	98	249	345	Взброс с правым сдвигом
6	20.04.1989	57,2	122,2	6,6	340	158	249	Взбросо-сдвиг
Сахалино-Хоккайдская зона разломов								
1	2.10.1964	51,9	143,3	5,75	139	18	242	Правый сбросо-сдвиг
2	5.09.1971	46,47	141,13	7,5	355,5	194,5	98,5	Правый взбросо-сдвиг
3	27(28).05.1995	52,76	143,18	7,6	153	324-333	62-63	Правый взбросо-сдвиг
4	4(5).08.2000	48,81	142,38	6,7-6,8	144-201	343-354	73-95; 260	Левый сдвиг-взброс
5	10.1996–9.2000	44-46	141-143	Нет данных	157	Нет данных	67	Нет данных
					135		45	
					200		110	
					183		93	
					169		79	

нейную конфигурацию, связанную, вероятно, со сложным характером деформаций в пределах зоны, в т.ч. и современных, о чем свидетельствует изменчивость ориентировок осей напряжений в очагах регистрируемых здесь в последние десятилетия наиболее сильных землетрясений [23] (табл. 1).

Из таблицы видно, что современное ПТН в пределах Становой зоны разломов характеризуется устойчивым субгоризонтальным положением оси максимальных главных нормальных напряжений σ_1 (сжатия), а ее ориентировка изменяется по простиранию зоны с ВСВ (на западном фланге) через субдолготную на ССЗ (в центре), а затем обратно – на ССВ (на восточном фланге). Непосредственно для расчета характеристик ПТН внутри исходного блока были взяты проекции ориентировок осей σ_1 в очагах выбранных землетрясений на горизонтальную плоскость, спроецированные на линию генерального простирания оси Становой зоны разломов.

Сахалино-Хоккайдская зона разломов имеет выдержанное субмеридиональное простирание и протягивается от северного окончания острова Сахалин до южного окончания острова Хоккайдо более чем на 1000 км при ширине от нескольких десятков до первых сотен км. Она соответствует линейно вытянутому в субмеридиональном направлении неотектоническому поднятию, ограниченному на севере и востоке впадинами Охотского моря, на западе – впадинами Татарского пролива и Японского моря, на юге – Тихим океаном. В рельефе эта зона пространственно совпадает с островами Сахалин и Хоккайдо.

В современном геодинамическом плане Сахалино-Хоккайдская зона разломов является активной тектонической границей, разделяющей Охотоморской и Амурский геоблоки. Высокая тектоническая активность зоны подтверждается совпадающей с ней в плане узкой и протяженной субмеридиональной полосой очагов землетрясений [4, 5], в пределах которой выделяются 4 ареала наиболее сильной сейсмичности.

Общее ПТН в пределах Сахалино-Хоккайдской зоны разломов характеризуется выдержанным субгоризонтальным положением оси сжатия, ориентировка которой изменяется от ВСВ в северной части зоны до субширотной – в южной. Для расчета ПТН в пределах исходного блока из имеющихся современных геодинамических данных по Сахалино-Хоккайдской зоне разломов были взяты ориентировки оси “сжатия” в очагах прежде всего самых сильных землетрясений, характеризующихся максимальными объемами напряженных пород в недрах и наиболее адекватно отражающих их напряженное состояние в пределах рассматриваемой зоны разломов (табл. 1) [21, 22].

Сино-Корейская зона разломов, являющаяся южной границей исходного блока, характеризуется меньшей геодинамической активностью, чем рассмотренные выше тектонические зоны. Восстановленные по сейсмологическим данным оси главных нормальных напряжений σ_1 меняют свою ориентировку от субмеридиональной в пределах восточной и центральной части южной границы до северо-восточной на ее западном фланге.

Величина внешней тектонической нагрузки, действующей по границам исходного блока, задавалась с учетом схемы районирования М.В. Гзовского (рис. 2) и составила: по северной и восточной границам $T_1 = 70 \text{ МПа}$; по южной – $T_2 = 30 \text{ МПа}$.

Задачу о напряженном состоянии верхней части земной коры в пределах Амурского геоблока решали методом конечных элементов (МКЭ), основная идея которого состоит в аппроксимации любой непрерывной величины (например, перемещения) дискретной моделью, строящейся на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе. Реализацию МКЭ осуществляли с помощью разработанного в ИГД ДВО РАН пакета прикладных программ для ПК "NETSFEM", ориентированного на решение задач в упругой двумерной постановке. Исследовали плоское напряженное состояние, в котором осевая главная деформация $\varepsilon_z \neq 0$, напряжения $\sigma_z = 0$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчеты напряженного состояния массива пород выполнены для двух вариантов: а) случай однородной сплошной среды, когда исходный блок является цельным; б) исходный блок разделен на блоки меньшего ранга, согласно схеме на рис. 3.

Анализ полученных результатов показал, что в однородном блоке напряжения σ_x (ориентированные в субширотном направлении) и σ_y (ориентированные

субмеридионально) распределяются по его площади относительно равномерно. В пределах исходного блока напряжения σ_x и σ_y колеблются в пределах от 0,8 до 1,15T, где $T = (T_1 + T_2)/2$. В центральной части блока $\sigma_x \approx T$.

Совсем другая картина распределения напряжений складывается в случае, когда исходный геоблок сложен блоками меньшего ранга (рис. 4). Характер напряженного состояния в этом случае определяется пространственным положением блока и ограничивающих его разломов, формой блока, а также величиной и направлением усилий, действующих на границе исходного геоблока. Напряженное состояние исследуемой части Амурского геоблока весьма неоднородно: на одних участках – преимущественно вблизи разломных зон – отмечается некоторое снижение напряжений до 0,7–0,8T, на других – рост напряжений до 1,4T и более. В центральной области большинства блоков поле напряжений более однородно, в то время как в зоне влияния разломных зон напряженное состояние намного сложнее. Здесь отмечается более высокий уровень касательных напряжений.

На рис. 5 показаны ориентация главных напряжений σ_1 и σ_2 и их соотношение σ_1/σ_2 (крестики) в отдельных точках геоблоков.

Установлено, что в рассматриваемой части Амурского геоблока преобладают субширотные напряжения, по величине в 1,2 раза и более в среднем

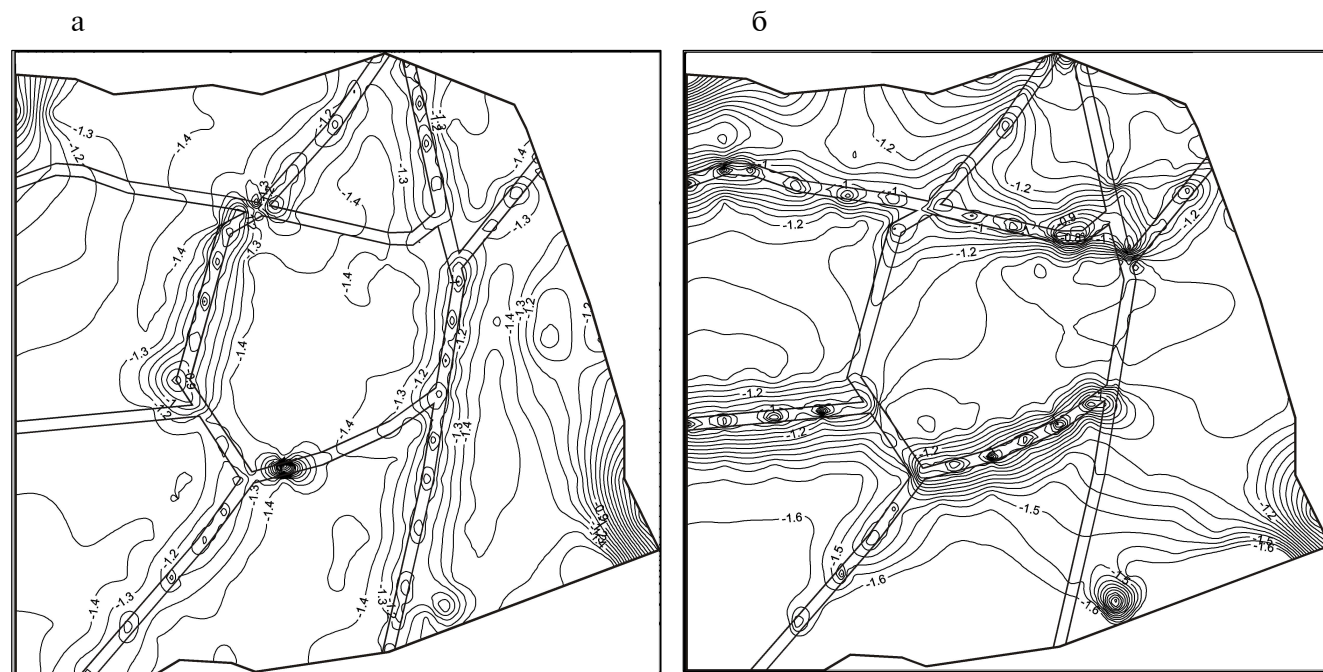


Рис. 4. Характер распределения напряжений в пределах восточной части Амурского геоблока: а – σ_x/T ; б – σ_y/T .

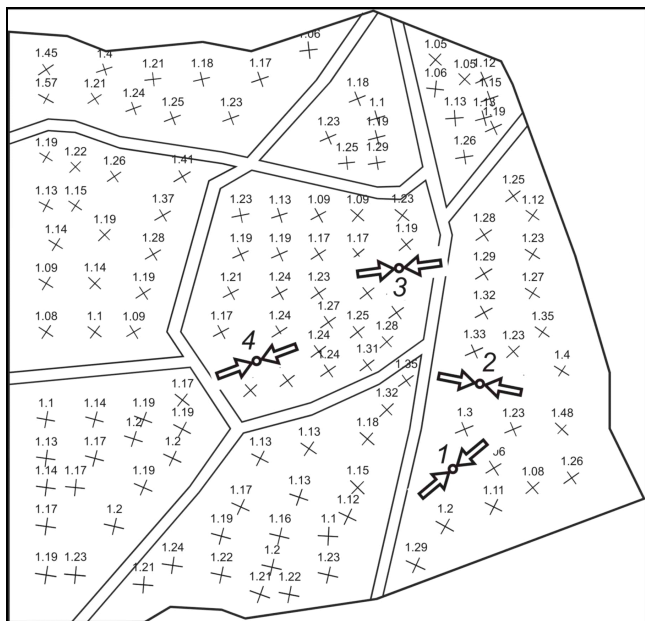


Рис. 5. Ориентация и соотношение главных субгоризонтальных напряжений в пределах восточной части Амурского геоблока.

Стрелками показаны направления действия наибольших сжимающих напряжений в массивах, вмещающих месторождения.

1 – Николаевское и Южное; 2 – Восток-2; 3 – Солнечное и Перевальное; 4 – Хинганское.

превышающие напряжения, ориентированные в субмеридиональном направлении. Наиболее выдержанной является ориентация главных напряжений в центральном блоке, в то время как в пограничных блоках наблюдается отклонение до $40\text{--}50^\circ$ в ориентации главных напряжений при удалении от границ исходного блока.

Результаты моделирования, в целом, удовлетворительно согласуются с данными о параметрах полей напряжений в массивах горных пород ряда рудных месторождений Дальнего Востока, определенных тектонофизическими и инструментальными методами (табл. 2) [10, 13, 16]. При этом отметим, что напряженное состояние массивов, вмещающих ряд месторождений, характеризуется сдвиговым типом. Об этом, в частности, свидетельствуют субгоризонтальные борозды и штрихи скольжения, наблюдаемые в швах тектонических нарушений, вскрытых подземными горными выработками. Данное обстоятельство в целом подтверждает развиваемое в работах В.П. Уткина (1989, 1997, 2003 и др.) важное для горной геомеханики предположение о приуроченности основных рудных районов Дальнего Востока к глобальной сдвиговой зоне.

Указанный автор считает, что вдоль восточного края Евразийского континента, вероятно в мезозое, заложилась левосторонняя сдвиговая система [1]. В процессе длительного развития сдвиги многократно активизировались. В результате в пределах глобальной зоны фиксируются многочисленные сдвиговые дислокации различного вида. Это – протяженные сдвиги северо-северо-восточного простирания, которые ограничивают узкие тектонические блоки и линзы, а также косоориентированные к ним взбросы, надвиги, взбросо-надвиги. По данным массовых замеров слоистости, ориентировка слоев в пределах сдвиговых зон развернута по отношению к фону на $20\text{--}30^\circ$ против часовой стрелки. Разворот слоев объясняется проявлением механизма вращения в сдвиговых зонах. Согласно данным глубинного сейсмозондирования, подобные зоны являются крутопадающими ($70\text{--}80^\circ$) разрывными структурами, которые проникают в верхнюю мантию.

Вышеизложенное, в том числе, определяет сложную структурно-динамическую обстановку в пределах рудных полей месторождений региона. Отмеченная структурно-кинематическая особенность восточной окраины Азии также является достаточно специфичной, и это обстоятельство потребует учесть в будущем при последовательном усложнении модели исходного расчетного блока. Уточненная модель должна учитывать роль сдвигово-магматического режима в формировании современного поля тектонических напряжений.

Тем не менее, результаты первого этапа исследований дают основания считать принятый для оценки региональных напряжений подход применимым для построения обобщенной геомеханической модели тектонически напряженного породного массива блочного строения. Полученные данные о характере распределения поля напряжений в пределах восточной части Амурского геоблока, которые на данном этапе исследований носят в большей степени качественный характер, предполагается уточнить в процессе последующих стадий моделирования.

Для детализации полей напряжений в районе конкретных месторождений, особенно приуроченных к крупным разломам, может быть использован предложенный нами в работе [15] принцип, заключающийся в дополнении регионального поля напряжений полями локальных напряжений, закономерно формирующимися вокруг активных тектонических нарушений. При обосновании данного принципа мы опирались на разработанную в ИФЗ РАН схему распределе-

Таблица 2. Параметры главных напряжений и элементы залегания рудных тел опасных и склонных к горным ударам месторождений Дальнего Востока.

Месторождения	Угол падения рудных тел, град.	Азимут простираения рудных тел, град.	Параметры главных напряжений (в числителе – азимут направления действия, в знаменателе – величина напряжений)		
			(σ_1) субширотное	(σ_2) меридиональное	(σ_3) вертикальное
Николаевское	0–15	80–100	45°	135°	100°
			$2,5\gamma H^*$	$1,5\gamma H$	γH
Южное	45–80	55	55°	162°	260°
			$1,8\gamma H$	γH	γH
Хинганское	70–90	–	250°	160°	290°
			$2,7\gamma H$	γH	γH
Перевальное	70–90	290–320	83°	290°	188°
			$2,0\gamma H$	γH	γH
Восток-2	50–90	50–53	283°	192°	96°
			$2,5\gamma H$	$1,3\gamma H$	γH

*) γ – удельный вес пород, кг/м³; H — глубина от поверхности, м.

ния напряжений в окрестностях разрыва, согласно которой напряжения в зоне его влияния меняют свою первоначальную ориентировку и действуют строго определенным образом [11].

С использованием этого подхода была разработана геодинамическая модель и определены параметры поля напряжений в районе Хинганского месторождения, которые впоследствии были подтверждены в процессе непосредственных шахтных измерений в подземных горных выработках [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рудные месторождения юга Дальнего Востока характеризуются сложным напряженным состоянием массива вмещающих их горных пород, которое, прежде всего, связано с природной спецификой формирования структуры земной коры на этой территории. Они могут быть отнесены к категории еще недостаточно изученных типовых объектов геомеханических исследований, которые отличаются от известных аналогов дополнительно тем, что расположены в зоне влияния Сино-Индонезийской области – активной сейсмической структуры новейшего времени. Последнее обстоятельство уникально для России. Оно требует организации постоянного контроля удароопасности разрабатываемых массивов горных пород, повышения точности и оперативности прогноза опасных проявлений горного давления, т.е. серьезного усовершенствования методов и средств

геомеханического мониторинга применительно к условиям региона.

В качестве первого этапа автором выполнена реализация методом конечных элементов обобщенной расчетной модели, составленной в рамках представлений о блочно-иерархичном строении земной коры и с учетом геодинамической характеристики основных элементов этого строения на исследуемой территории. Показано, что этот подход дает возможность оценить региональное поле современных напряжений в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов.

Установлено, что блоковое строение участка земной коры в пределах восточной части Амурского геоблока усложняет исходное поле тектонических напряжений и вызывает переориентацию и изменение соотношения главных субгоризонтальных напряжений.

Выявленный в массивах, вмещающих ряд месторождений Дальнего Востока, сдвиговый тип напряженного состояния указывает на существенное влияние глобальной сдвиговой зоны, заложенной вдоль восточного края Евразийского континента, на формирование современной структуры рудных полей месторождений. Изложенное потребует усложнения расчетной модели в будущем.

Данные о характере распределения поля напряжений в пределах восточной части Амурского геоблока могут быть уточнены с использованием принципа, заключающегося в дополнении регионального

поля напряжений полями локальных напряжений, закономерно формирующимися вокруг активных тектонических нарушений.

Автор выражает признательность чл.корр. РАН Родионову С.М., д.г.-м.н. Саксину Б.Г. и научному сотруднику Пересторонину А.Н. за ценные советы и помощь при подготовке настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 книгах / Под. ред. А.Н. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
3. Динамические проявления горного давления на Хинганском руднике / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, Б.И. Берман и др. // Горный журнал. 1992. № 3. С. 56–60.
4. Злобин Т.К. Тектонические границы Охотской литосферной плиты // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: III Косыгинские чтения, 23-25 января 2001 г., г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 142–159.
5. Корчагин Ф.Г. Геодинамика Амурского геоблока / Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений: I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000 г. / Под ред. Ф.Г. Корчагина. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 18–39.
6. Красный Л.И. Геология региона Байкало-Амурской магистралей. М.: Недра, 1980. 159 с.
7. Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А. Об отношении линейных размеров блоков горных пород к величинам раскрытия трещин в структурной иерархии массивов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1993. № 3.
8. Леонтьев А.В., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Модельные представления полей региональных напряжений для Алтае-Саянской горной области // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 4. С. 53–61.
9. Николаев В.В., Врублевский А.А., Ахмадулин В.А., Кузнецов В.Е. Геодинамика и сейсмическое районирование материковой части Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 2000. 90 с.
10. О напряженно-деформированном состоянии Николаевского месторождения / В.Д. Барышников, М.В. Курленя, А.В. Леонтьев и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1982. № 2. С. 3–11.
11. Осокина Д.Н., Цветкова Н.Ю. Изучение локального поля напряжений и прогноз вторичных нарушений в окрестностях тектонических разрывов и в очагах землетрясений с учетом третьего главного напряжения // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 163–184.
12. Петухов И.М., Батурина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра, 1996. 217 с.
13. Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, А.А.Еременко и др. Новосибирск: Наука, СИФ, 1992. 177 с.
14. Подгорный В. Я. Плотностное строение литосферы юга российского Дальнего Востока и северо-востока Китая // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: III Косыгинские чтения, 23-25 января 2001 г., г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 121–134.
15. Рассказов И.Ю. Исследование особенностей формирования поля напряжений в районе Хинганского оловорудного месторождения // Геодинамическое районирование недр. Кемерово, 1991. С. 94–101.
16. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А. Оценка и контроль удароопасности массива горных пород на рудниках. Владивосток: Дальнаука, 2001. 167 с.
17. Роль разломов в формировании тектонической структуры юга Дальнего Востока / Л.М. Парфенов, Б.А. Натальин, А.А. Врублевский, Л.П. Карсаков, В.В. Юшманов // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона. М.: Наука, 1982. С. 21–34.
18. Савченко С.Н., Козырев А.А., Мальцев В.А. Напряженное состояние блочного строения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1994. № 5. С. 38–47.
19. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 4.
20. Сейсмоструктура Якутии и проблема выделения границ литосферных плит на Северо-Востоке Азии / В.С. Имаев, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин, С.В. Слепцов, М.Ф. Третьяков // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений: I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26–29 сентября 2000 г. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 7–17.
21. Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С. Оперативное определение параметров очага разрушительного Нефтегорского землетрясения 27(28) мая 1995 г. // Нефтегорское землетрясение 27(28).05.1995 г. Информационно-аналитический бюллетень ФССН. Экстренный выпуск, октябрь 1995 г. – М., 1995. 236 с.
22. Тамура Макото, Касахара Минору, Итиянаги Масайоси, Сен Рак Се, Ким Чун Унг, Иващенко А. Сейсмичность Южного Сахалина и северной части о. Хоккайдо // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений: I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000 г. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 96–108.
23. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 571 с.
24. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского пояса / Объясн. зап. к тектонической карте м-ба 1:1500000. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
25. Уломов В.И. Оценка сейсмической опасности и Временная схема сейсмического районирования Сахалина // Нефтегорское землетрясение 27(28).05.1995 г. Информационно-аналитический бюллетень ФССН. Экстренный выпуск, октябрь 1995 г. М., 1995. 236 с.
26. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах // А.А. Козырев, В.И. Панин, С.Н. Савченко и др. Апатиты: КНЦ РАН, 1996.
27. Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенков А.А. Разломы Сахалина // Тихоокеан. геология. 1984. № 2. С. 77–86.
28. Хронусов В.В., Константинова С.А., Барский М.Г. Оценка

региональных напряжений в верхней части земной коры Среднего Урала и Пермского Приуралья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1999. № 4. С. 33–42.

29. Черкасов Р.Ф. Современная вулкано-сейсмическая актив-

ность Сино-Индонезийской области как следствие эксцентриситетности субъядра Земли // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: V Косыгинские чтения. Материалы конференции / Под ред. С.М. Родионова. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2006. С. 76–80.

Поступила в редакцию 6 июля 2006 г.

Рекомендована к печати Ю.А. Мамаевым

I. Yu. Rasskazov

Numerical simulation of the present-day tectonic stress field in the Central Asia and Pacific belts junction area

The problem of numerical modeling of the present-day regional stress field in complex geodynamic and seismic conditions of the Central Asia and Pacific belts junction area is considered. An approach is suggested allowing assessment at a first approximation of the character of the regional stress field to be taken into consideration in geodynamic investigations at deposits of the region dangerous in terms of mine shocks. Questions pertaining to the complication of the calculated model at subsequent stages of investigations are discussed.

Key words: Central Asia and Pacific belts junction area, ore deposits, mine shocks, numerical modeling, regional stress field.