

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Чунуев Ишимбай Карыбаевич, заведующий кафедрой, профессор Института горного дела и горных технологий при КГТУ им. И. Раззакова, Президент Кыргызской горной ассоциации, Президент Кыргызского общества экспертов недр, e-mail: IChunuev@gmail.com

Аннотация. Цель статьи – исследования условий освоения месторождений, строительство и эксплуатация крупных гидротехнических сооружений (ГЭС), расположенных в условиях высокогорья, требуют учета комплекса горно-геологических условий, таких как: вечная мерзлота, наличие ледников, тектонических и латеральных (влияние рельефа) напряжений, высокой сейсмоактивности и движений блоков земной коры и др. Концептуально рассмотрены вопросы современных геотехнических исследований, применяемых при разработке месторождений, строительстве и эксплуатации ГЭС в разных сложных горно-геологических условиях и этапах их освоений. Предложена блок-схема экспертной системы геотехнического обеспечения безопасного и эффективного освоения высокогорных месторождений, строительства и эксплуатации ГЭС.

Ключевые слова: высокогорные месторождения, гидротехнические сооружения, тектоника, геодинамика, землетрясения, ледники, тектонические и латеральные напряжения, вечная мерзлота, геотехника.

GEOTECHNICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN DEPOSITS AND HYDROPOWER FACILITIES

Chunuev Ishimbay Karybaevich, head of Department, Professor of the Institute of mining and mountain technologies at KSTU them. I. Razzakov, the President Kyrgyz mining Association, the President of the Kyrgyz society of subsoil experts, e-mail: IChunuev@gmail.com

Article purpose - researches of conditions of development of fields, construction and operation of large hydraulic engineering constructions (hydroelectric power station) located in the conditions of highlands demand accounting of a complex of mining-and-geological conditions, such as: permafrost, existence of glaciers, tectonic and lateral (influence of a relief) tension, high seismic activity and movements of blocks of crust, etc. Questions of the modern geotechnical researches applied during the developing of fields, construction and operation of hydroelectric power station in different difficult mining-and-geological conditions and stages of their development are conceptually considered. The flowchart of expert system of geotechnical ensuring safe and effective development of mountain fields, construction and operation of hydroelectric power station is offered.

Key words: mountain deposits, hydrotechnical construction, tectonics, geodynamics, earthquakes, glaciers, tectonic and lateral tension, permafrost, geotechnics.

Освоение высокогорных месторождений и гидротехнических сооружений характеризуются следующими геотехническими условиями:

- ✓ Вечной мерзлотой
- ✓ Наличием ледников
- ✓ Резким перепадом температур (+25°; - 50°)
- ✓ Высоким уровнем и неоднородностью тектонических напряжений в массиве пород

пород

- ✓ Наличием сложного рельефа и наличием латеральных зональных напряжений в массиве пород
- ✓ Неоднородностью и раздробленностью тектонической структуры массива и др.

Геотехнические исследования данных объектов должны быть направлены на изучение и мониторинг двух основных процессов:

1. ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ, включающие исходные данные о структуре и состоянии массива пород – геодинамика, анализ сейсмичности и афтершоков, тектонофизический анализ разрывных и пликативных структур региона, района и самого месторождения, уровень напряжений, определение глубины вечной мерзлоты, анализ движения ледников в районе рудников, анализ современных движений блоков земной коры на основе данных GPS.

1.1. Тектонофизический анализ структуры регионов и областей.

Для выявления природы и закономерностей геодинамических полей напряжений автором в течение 40 лет [7,8,14] проводится тектонофизический анализ структур Тянь-Шаня - анализируются данные неотектоники региона с реконструкцией палеотектонических напряжений в условиях ряда месторождений и сопоставлением их с показателями непосредственных измерений их в породных массивах, анализа очагов крупных современных землетрясений и современных движений блоков земной коры региона по данным GPS [4,14].

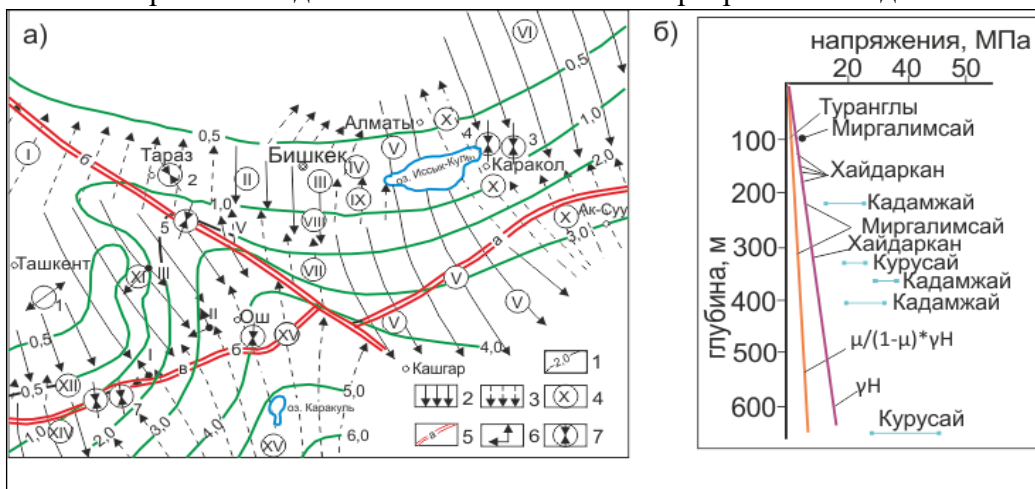


Рис.1. Анализ напряженного состояния породного массива Тянь-Шаня на основе данных о современном движении земной коры и натуральных измерений: **а)** 1-средние скорости горизонтальных перемещений земной коры за новейшее время (мм/год); 2 - направления волновых движений земной коры, ориентированные на юг; 3 - направления волновых движений земной коры, ориентированные на север; 4 - система волн и их номера: I-Каратау-Таласская, II-Аспаринская, III-Чуйско-Киндиктасская, IV-Байбичесоурская, V-Трантяньшаньская, VI-Джунгарско-Тенгританская, VII-Кетментюбинско-Арпинская, VIII-Джумгалская, IX-Кочкорская, X-Кокшаал-Заилийская, XI-Чаткальско-Ферганская, XII-Нуратауская, XIII-Туркестанская, XIV-Гиссаро-Байсунтауская, XV-Памиро-Алайская; 5-глубинные разломы: а-Кокшаальский, б-Таласо-Ферганский, в-Гиссаро-Восточно-Алайский; 6-направления максимальных горизонтальных напряжений, измеренные методом разгрузки: I-месторождение Хайдаркан, II-Улу-Тоо, III-Терексай, IV-Токтогульская ГЭС; 7 - направления максимальных напряжений сжатия по сейсмологическим данным: 1-Ташкентское 26.04.1966 г.; 2-Джамбульское 10.05. 1971 г.; 3-Сарыкамьшское 5.06.1970 г.; 4-Жаналаш-Тюпское 03.1978 г.; 5-Чаткальское 3.12.1946 г.; 6-Алайское 04.1978 г.; 7-Баткенское 02.1977 г.; **б)** Распределение субгоризонтальных напряжений по измерениям в рудниках региона

Сопоставительный анализ (работы проведены в период 1979 г. – 1993 г.) результатов измерения напряжений в натуральных условиях некоторых месторождений Тянь-Шаня с данными неотектоники указывает на непосредственную связь между измеренными и тектоническими полями напряжений (рис.1). Азимуты направлений максимальных горизонтальных напряжений измеренных в массивах месторождений Хайдаркан, Улу-Тоо, Кадамжай, Терексай, Сулюкта, массива каньона реки Нарын в районе строительства Токтогульской ГЭС, Джергалан, Сары-Джаз, Кумтор, Макмал и др., имеют одинаковое направление с азимутом направлений неотектонических напряжений соответствующих областей. Анализ ориентаций осей напряжений в очагах землетрясений происходивших на территории региона дал такие же связи с азимутами направлений максимальных напряжений. Эти связи указывают на то, что современные тектонические движения земной коры в регионе Тянь-Шань носят унаследованный характер. В соответствии с геологической структурой в рассматриваемой области региона можно разграничить зоны с одинаковым поведением в движении и определенным постоянством в пространстве напряженным состоянием.

Изложенное показывает, что *напряженное состояние массива в пределах региона Тянь-Шань формируется под действием трех основных факторов: повсеместно действующих гравитационных напряжений, латеральных (влияние рельефа) и изменяющихся в зависимости от структурных зон тектонических напряжений.* В регионе действуют высокие горизонтальные тектонические напряжения неотектонической природы с зональными распределениями по направлению действия. Уже на достигнутых глубинах подземных горных разработок в некоторых районах региона тектонические напряжения по величине превышают гравитационные в 2-3 раза и более.

1.2. Применение методов космической геодезии для определения скоростей движения блоков земной коры в районе разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ) и ГЭС.

Изучение современных движений земной коры территории Тянь-Шаня посредством GPS-измерений было начато в 1992 году [2,4]. С этого момента было начато развитие Центрально-Азиатской GPS-сети и накопление данных ее наблюдений. Эти данные обрабатываются специалистами ИС РАН при помощи программного комплекса GAMIT/GLOBK (Herring et.al., 2009) с целью получения согласованного набора оценок скоростей пунктов GPS-наблюдений. Регулярно проводимые полевые наблюдения и совершенствующаяся методика обработки (ФГБУН Научная Станция РАН в г. Бишкек) (Костюк, Баркалова, 2008; Мансуров, 2015) позволяют каждый год получать все более точные оценки этих скоростей. На сегодняшний день в отдельных областях Тянь-Шаня густота расположения пунктов GPS-наблюдений и точность оценки их скоростей позволяют провести детальный анализ распределения локальных деформаций. Для получения карты распределения деформаций в масштабе региона Тянь-Шаня были использованы оценки скорости более 50 пунктов GPS-наблюдений, лежащих в пределах 41.65°–42.9° с.ш., 73.5°–76.2° в.д. Ошибки оценки горизонтальной компоненты этих скоростей не превышают 0.3 мм/год. Общий тип деформации остается субмеридиональным сжатием.

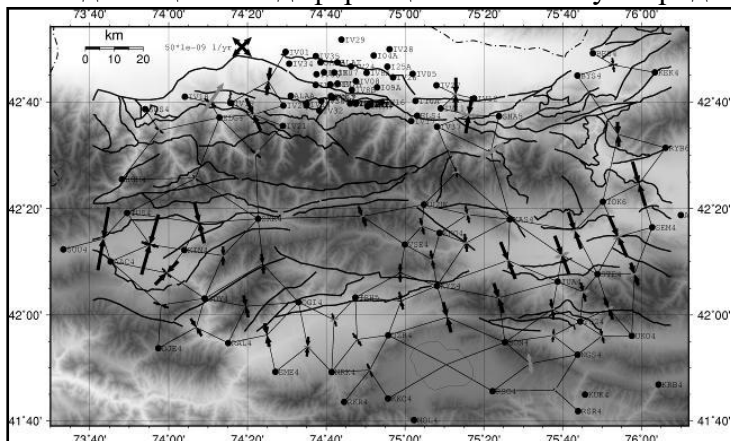


Рис. 2. Распределение значений тензора скорости деформации, рассчитанных по отдельным наборам точек GPS-наблюдений.

1.3. Большой опыт изучений и наблюдений напряжений земной коры на сайте ИФЗ РАН “GLOBAL STRESS MAP” [1,3]

В настоящее время широко известны результаты проекта «World stress map» (Zobak, 1992), в рамках которого в мировую карту напряжений были включены данные об ориентации осей главных снимаемых напряжений P и T в очагах наиболее сильных землетрясений ($M_b \geq 7$).

Все сейсмологические данные о механизмах очагов землетрясений «инвертированы» в данные о тектонических напряжений на основе хорошо зарекомендовавшего себя метода катакластического анализа разрывных смещений – МКА, созданного в ИФЗ РАН д. физ.-мат.н. Ю.Л.Ребецким [1,6]. Вся работа сайта разделена на две части: клиентская и серверная. Обмен данными между клиентом и сервером происходит в JSON формате, используются асинхронные запросы (AJAX). На сайте реализована возможность пополнения каталога напряженных состояний за счет файлов пользователей базой данных. С целью разграничения прав пользователи делятся на категории: простые (просмотр и получения графических изображений), квалифицированные (дает право добавлять файл напряжений). Предусмотрены также и другие виды администрирования прав пользователей. При загрузке сайта имеется возможность выбрать регион с данными о напряжениях и изображаемые на карте параметры тензора напряжений. В настоящее время данные о напряжениях загружаются на сайт его администраторами. Однако в дальнейшем предполагается развитие созданного сайта на автоматизированный расчет напряжений по сейсмологическим данным загружаемым квалифицированными пользователями. Другим направлением развития сайта будет являться возможность слежения за временными изменениями напряженного состояния. Это будет делать в режиме, близком к он-лайн, на основе новых данных о механизмах очагов землетрясений, размещенных в на глобальных и региональных сейсмологических центрах.

В качестве примера приведены данные анализа Жаланаш-Тюпского землетрясения (рис3).

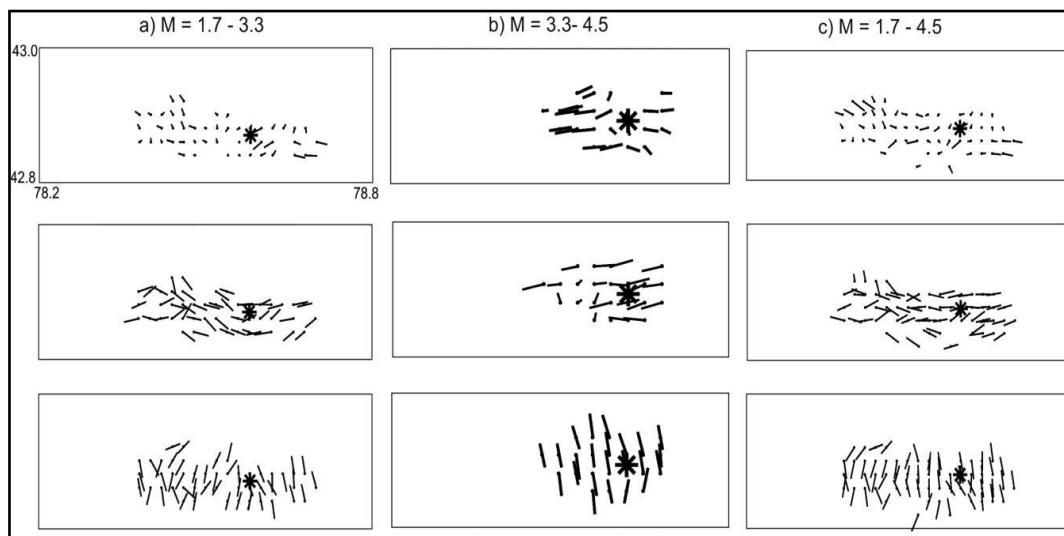


Рис.3. Проекция на горизонтальную плоскость осей максимальных девиаторных напряжений, восстановленных по афтершокам Жаланаш-Тюпского землетрясения по разным энергетическим интервалам: а – $1.7 \leq M \leq 3.3$, б – $3.3 < M \leq 4.5$, в – $1.7 \leq M \leq 4.5$

Верхний ряд рисунков - ориентация осей максимальных девиаторных напряжений растяжения, средний ряд – ориентация промежуточных осей, нижний ряд – ориентация осей максимальных девиаторных напряжений сжатия. Направление погружения осей из точки. Точка в центре линии означает близгоризонтальное положение осей напряжения. Эти же

точки являются центрами однородно деформирующихся доменов. Звездочкой отмечен эпицентр главного события. Реконструкция ориентации осей максимальных девиаторных напряжений сильных повторных толчков ($3.3 < M \leq 4.5$) Жаланаш-Тюпского события позволяет говорить о том, что земная кора афтершоковой области, расположенной вокруг эпицентра главного землетрясения, находилась под действием близгоризонтального субмеридионального-северо-западного сжатия при преимущественном близгоризонтальном субширотном растяжении (рис. 3). Тип напряженного состояния сдвиг и сжатие, значения коэффициента Лоде - Надаи ($\mu\sigma$) меняется в достаточно широких пределах: от -0.2 до +1.0. Восстановленная ориентация осей максимальных девиаторных напряжений слабых повторных толчков ($1.7 \leq M \leq 3.3$) показывает субмеридиональное сжатие северо-западной ориентации на востоке и северо-восточной на западе. В отличие от субширотного близгоризонтального направления осей растяжения по сильным афтершокам, направление осей растяжения по слабым событиям ближе к субвертикальному. Тип напряженного состояния соответствует сжатию, значения коэффициента Лоде - Надаи, в основном, меняется в пределах: от -1.0 до +0.6.

Полученные результаты по другим сильным современным землетрясениям свидетельствуют о неоднородности напряженного состояния афтершоковых последовательностей разных энергетических уровней, произошедших в районе Тянь-Шаня. Так, поле напряжений по сильным афтершокам является наиболее однородным и соответствует северо-северо-западному сжатию, характерному для рассматриваемой территории Тянь-Шаня. По мере уменьшения магнитуды повторных толчков, ориентация осей напряжений, восстановленная по ним, становится все менее упорядоченной. По-видимому, на формирование очагов более слабых событий оказывают влияние более мелкие неоднородности, блоки земной коры. Несоосность в ориентации главных осей напряжений, полученных за счет механизмов афтершоков разных магнитуд, говорит об отсутствии подобия поля напряжений разных масштабных уровней, что требует изучать и проводить мониторинги деформаций и состояния напряженно-деформированного состояния на конкретных месторождениях.

2.ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, включающие следующие исследования и мониторинг:

2.1.Тектонофизический анализ структуры месторождения. Имеется опыт тектонофизического анализа ряда тектонических структур месторождений: Хайдаркан, Джергалан, Кумтор, Сулюкта и положительный опыт использования данных этих исследований в решении вопросов безопасности и эффективности горных работ [5,7,8]. В данной работе ввиду ограниченности объемов изложения эти данные не представлены.

2.2.Проведение исследований по определению физико-механических свойств пород и руды с целью установления технологических параметров процесса добычи полезного ископаемого-буримость, взрываемость, экскавируемость, слеживаемость, реологические свойства, поведение пород и руды при обнажении их в условиях вечной мерзлоты и др.; обнаружение пустот в массиве пород и ледниках, движение ледников и др.:

- Имеется положительный опыт внедрения установки BLASTMAKER, КОБУС (разработки КРСУ) для определения всего спектра физико-механических свойств пород и руды на стадии проведения эксплуатационных буровых работ.

- Программа DIPS для обработки данных структурного картирования и тектонофизического анализа, составление таблицы прочности породы [13].

- Обнаружение пустот в массиве пород и ледников. Имеется положительный опыт исследования пустот в условиях Кумторского месторождения с использованием современных приборов и сканеров.
- Производство наблюдений за движением ледников с использованием современных электронных тахеометров и отражательных призм, что позволяет построить площадной тензор скорости движений ледников без нахождения на них людей [11].

2.3. Изучение и обоснование устойчивых параметров горных выработок, вопросы сдвижения горных пород при комбинированном способе разработки. При открытой разработке – устойчивость борта карьера и уступов, отвалов, дамбы хвостохранилища, дорог. При подземном способе – устойчивость выработок и очистного пространства, контроля качества закладки:

- Мониторинг бортов карьера путем площадного размещения реперов и автоматического контроля устойчивости в он-лайн режиме и оповещения, мкэ, гиу расчет [11].
- Расчет устойчивости бортов карьеров с помощью современных компьютерных программ [10,12].
- Выявление крупных разломов – особенно в области вскрышных пород и вечной мерзлоты.
- Изучение горно-технологических параметров-ориентация выработок – важно на стадии проектирования, выявление зон наведенной трещиноватости. Эффективное использование внутренней потенциальной энергии массива при массовой отбойке руды и скорости проходки.
- Применение сканеров, а также широкое применение летательных аппаратов-увеличит производительность и достоверность съемок.
- Проведение наблюдений за устойчивостью и выработке мер по охране зданий, сооружений в районе мульды сдвижения [14].
- Обеспечение устойчивости бортов каньонов рек и дамб водохранилищ при проектировании, строительстве и эксплуатации крупных ГЭС – набор минимальных методов контроля – плиты осадения, инклинометры, пьезометры- большой положительный опыт на Кумторе (в 2003 г. выявили подвижки и были приняты своевременные меры по повышению устойчивости дамбы хвостохранилища).

Выводы: Освоение месторождений, строительство и эксплуатация крупных ГЭС, расположенных в условиях высокогорья, сопряжено со сложными горно-геологическими условиями, таких как: вечная мерзлота, наличие ледников, высоким уровнем тектонических напряжений в массиве пород, сейсмоактивностью, современными движениями блоков земной коры и др. Для безопасного и эффективного освоения высокогорных месторождений, строительства и эксплуатации ГЭС на основе многолетних научно-исследовательских и практических работ на шахтах и рудниках автором предложена блок-схема экспертной системы комплекса работ и мер геотехнического обеспечения горных работ и объектов ГЭС (рис.4).

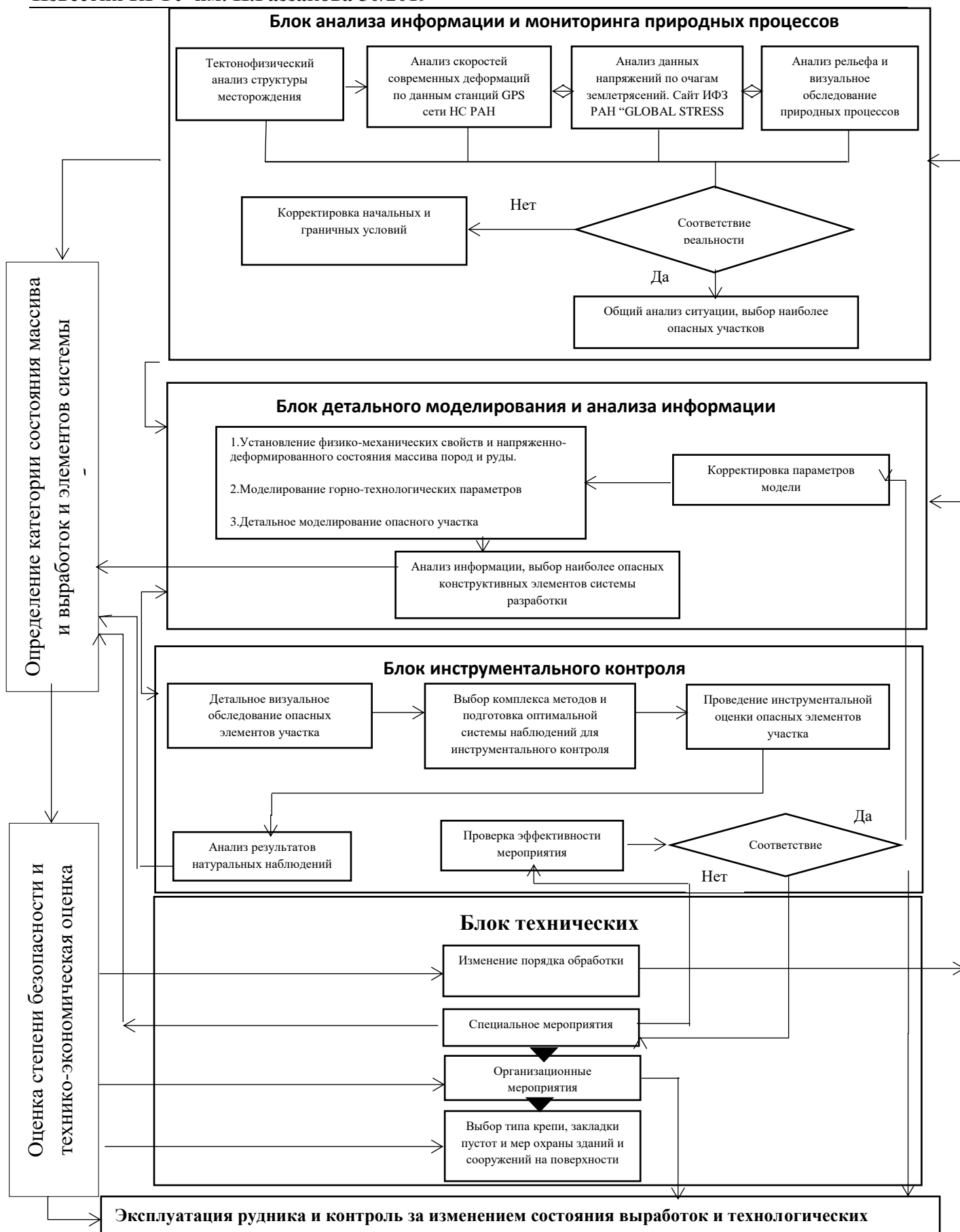


Рис.4. Блок-схема экспертной системы геотехнического обеспечения освоения недр и гидротехнических сооружений в условиях высокогорья

Список литературы

1. Ахмедов М.Б., Шлюнкин А.В., Лукьянов И.В., Ребецкий Ю.Л. Поле современных напряжений земной коры на сайте ИФЗ РАН "GLOBAL STRESS MAP". В сб. докладов: http://www.ifz.ru/fileadmin/user_upload/subdivisions/506/Konferencii/2015/School/Vol1_2015.pdf/ С.16-21.
2. Девяткина А.С. Применение методов космической геодезии для определения скоростей движения блоков земной коры. В сб. докладов: http://www.ifz.ru/fileadmin/user_upload/subdivisions/506/Konferencii/2015/School/Vol1_2015.pdf/ С.79-84.
3. Козин М.Е., Кальметьева З.А, Кучай О.А. Особенности напряженного состояния афтершоковых областей сильнейших землетрясений Тянь-Шаня. В сб. докладов: http://www.ifz.ru/fileadmin/user_upload/subdivisions/506/Konferencii/2015/School/Vol1_2015.pdf/ С.154-161.
4. А.Н. Мансуров. Распределение скорости современной деформации земной коры Северного Тянь-Шаня, полученное триангуляцией сети точек GPS наблюдений. В сб. докладов: http://www.ifz.ru/fileadmin/user_upload/subdivisions/506/Konferencii/2015/School/Vol1_2015.pdf/ С.182-191.
5. Мамбетов Ш.А., Чунуев И.К. Геодинамические поля напряжений и возможности их прогнозирования в регионе Тянь-Шаня. В сборнике научных трудов «Взаимосвязь геолого-тектонического строения, свойств, структурных особенностей и проявлений избыточной напряженности» Апатиты: КФ АН СССР, 1984г. С. 109-111.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига» 2007. 406 с.
7. Чунуев И.К., Мамбетов Ш.А., Султаналиева Р. Оценка и контроль состояния массива месторождения Хайдаркан. В книге: «Методология и технические средства определения напряжений в горном массиве». Новосибирск, 1983г. С.63-69.
8. Чунуев И.К., Абдыкапаров Ч, Имаралиев А.И, Мамбетов Ш.А. Методика выделения геологических элементов структур по которым должны реконструироваться современные поля тектонических напряжений. «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых в условиях высокогорья». Труды ФПИ Фрунзе 1990г. С.72-83.
9. Чунуев И.К., Мамбетов Ш.А. К оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом рельефа местности. Фрунзе, «Илим», 1990г. стр-125-133.
10. Чунуев И.К., Айтматов И.Т., Жумабаев Б., Исаева Г.С. Оценка напряженно-деформированного состояния массивов пород (НДСМ) нагорных карьеров. В сборнике "Вопросы геомеханики и разработки месторождений полезных ископаемых" Бишкек, ИЛИМ, 1997. С.112-117.
11. Чунуев И.К., Дуйшеналиев Ж.М Организация мониторинга отвалов и ледников на руднике Кумтор. В сборнике "Проблемы геомеханики и геотехнического освоения горных территорий", Бишкек, 2001. С.70-75.
12. Чунуев И.К., Исаева Г.С., Ялымов Р.Н. Автоматизированная система расчета параметров камер и целиков при отработке пологопадающих. Учебное пособие. Бишкек, 2005. 32 с.
13. Чунуев И.К. Методика определения качества породных массивов на начальных стадиях проектирования. Программа DIPS. ИЗВЕСТИЯ Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. №33. Бишкек, 2014. С. 554-557.
14. Чунуев И.К. Исследование естественного и вторичного напряженно-деформированного состояния, и параметров сдвижения горных пород в геодинамически активных районах. Инженер №9, 2015 г. Бишкек. Научно-образовательный и производственный журнал минеральных ресурсов. с. 247-254.