

## ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВЫБОРЕ БЕЗОПАСНЫХ ПЛОЩАДОК РАЗМЕЩЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

КОНОВАЛОВА Ю. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

***Введение.** Вопросы безопасного размещения и эксплуатации особо ответственных объектов недропользования являются исключительно актуальными. Безопасное функционирование любого объекта зависит не только от его конструктивных особенностей, но и от достоверной и обоснованной оценки явлений, происходящих в среде, где он создан, т. е. в массиве горных пород. Современные геодинамические движения являются одним из факторов, определяющих напряженно-деформированное состояние массива. Однако проведение специальных изысканий, направленных на выявление и учет геодинамических движений, не нашло должного отражения при проектировании и строительстве особо ответственных объектов. Несовершенство нормативной базы и сложности учета пространственно-временного распределения параметров геодинамических движений являются основными причинами отсутствия методики геодинамической диагностики горного массива, пригодной для массовой реализации в практике инженерных изысканий.*

***Целью работы** является исследование распределения деформаций как основного параметра, определяющего состояние объекта, обусловленных современными геодинамическими движениями, в иерархически блочном массиве горных пород на разных пространственно-временных уровнях для совершенствования методики учета геодинамических факторов при выборе безопасных площадок размещения.*

***Методика проведения исследований.** В исследованиях были использованы результаты геодезического мониторинга трендовых и циклических короткопериодных геодинамических движений, полученных на локальных геодинамических полигонах на базах от десятков метров до 25 км, а также данные постоянно действующих станций глобальной навигационной спутниковой системы на территории площадью 70 × 90 км. Для различных пространственно-временных баз измерений были рассчитаны деформационные параметры геодинамических движений, отстроены поля деформаций.*

***Результаты.** По данным повторных геодезических измерений на базах от десятков метров до 90 км за временной интервал от нескольких часов до 40 лет установлены зависимости модуля относительных деформаций от длины реперного интервала. На основании зависимостей получены максимальные значения деформаций, которые использованы в качестве критических деформационных критериев при исследовании территорий различной площади и выборе параметров мониторинговой сети. При сопоставлении деформационных параметров трендовых и короткопериодных движений одних и тех же реперов наблюдательной сети установлена взаимосвязь в ориентации главных осей тензоров деформаций, рассчитанных по данным измерений за длительный промежуток времени и за суточный сеанс непрерывных измерений с дискретностью замера 10–20 мин.*

***Область применения результатов.** Выявленная закономерность может быть использована для экспресс-диагностики напряженно-деформированного состояния массива за непродолжительное время по результатам измерений непрерывных короткопериодных движений.*

**Выводы.** Полученные результаты позволяют повысить достоверность оценок состояния массива горных пород по геодинамическому фактору при выборе безопасных мест размещения ответственных объектов недропользования.

**Ключевые слова:** современные геодинамические движения; ответственные объекты недропользования; атомная станция; иерархически блочный массив; самоорганизация; деформация; геодинамическая диагностика.

**Введение.** На современном этапе вопросы безопасного размещения и функционирования особо ответственных и экологически опасных объектов, таких как АЭС, ГЭС, ТЭЦ, нефте- и газопроводы, захоронения токсичных и радиоактивных отходов, горнодобывающие предприятия, метрополитены, сооружения уникальной конструкции, приобретают все большую актуальность и значимость. Безопасное функционирование любого объекта недропользования базируется на двух сложных составляющих – на самом объекте с его конструктивными особенностями и на явлениях, происходящих в среде, где он создан, т. е. в массиве горных пород. Одним из факторов, определяющих напряженно-деформированное состояние массива, процессов и явлений, имеющих место в нем, являются современные геодинамические движения. Под современными геодинамическими движениями понимают движения, протекающие в приповерхностной части литосферы и на земной поверхности в настоящее время и прогнозируемые на период срока службы объекта недропользования. Долгое время современные движения земной коры и земной поверхности рассматривались главным образом во взаимосвязи с землетрясениями, на основе чего и были разработаны методики и нормативные документы по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству. Деформационным процессам, обусловленным медленными геодинамическими движениями, проявляющимися во временном интервале от нескольких суток до десятков лет, в нормативной документации, регламентирующей требования по обеспечению безопасности размещения объектов недропользования, до недавнего времени уделялось очень мало внимания. Однако накопленный опыт экспериментальных исследований на геодинамических полигонах, результаты геодезических наблюдений на постоянно действующих станциях глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) свидетельствуют о повсеместной распространенности таких движений. Интенсивные современные движения земной коры, обладающие пульсационной и знакопеременной направленностью, обнаружены не только в сейсмически опасных регионах, но и в асейсмичных районах, в зонах, прилегающих к тектоническим нарушениям [1].

Исследования влияния движений на объекты недропользования показали, что игнорирование геодинамического фактора при инженерных изысканиях может стать причиной возникновения их аварийных состояний, вплоть до разрушения [2–6]. Однако проведение специальных изысканий по геодинамической диагностике на этапе строительства не вошло в практику даже для особо ответственных объектов. В конце 1980-х–начале 1990-х гг. на предпроектной стадии изысканий для строительства атомных станций оценка тектонической активности земной поверхности и разломов производилась, как правило, только по фоновым геодезическим материалам в комплексе с данными по неотектонике и сейсмичности [8, 9]. С внедрением спутниковых методов исследования геодинамической активности были направлены на выявление трендовых движений только как предвестников землетрясений. Движения в качестве фактора непосредственного влияния на устойчивость и безопасность объектов не рассматривались [10]. И только в 2000-х гг. в работах В. Н. Татарина и В. Н. Морозова [11] стало уделяться большое внимание вопросам разработки методических основ прогнозирования горизонтальных движений и дифференцирования земной поверхности по скоростям

деформаций на основе применения спутниковых систем для геодинамического районирования при выборе мест подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов. Однако до настоящего времени методика диагностики современной геодинамической активности массива горных пород, пригодная для массовой реализации в практике инженерных изысканий, не разработана. Одна из главных причин отсутствия такой методики заключается в сложности выявления и учета пространственно-временных закономерностей распределения геодинамических движений.

Целью работы является исследование распределения деформаций как основного параметра, определяющего состояние объекта, обусловленных современными геодинамическими движениями, в иерархически блочном массиве горных пород на разных пространственно-временных базах для совершенствования методики геодинамической диагностики площадок размещения ответственных объектов.

**Проблемы учета геодинамического фактора при выборе безопасных площадок размещения объектов.** Как известно, массив горных пород представляет собой иерархически блочную среду, в которой структурная иерархия блоков существует на разных масштабных уровнях. Каким бы малым не был масштаб, в среде всегда будут присутствовать структурные неоднородности сравнимого с этим масштабом иерархического уровня. Геодинамические движения, проявляющиеся на разном пространственно-временном уровне, вызывают деструкцию иерархически блочного массива, которая приводит к дискретному характеру распределения деформаций на всех уровнях иерархической блочности массива. Деформации на границах блока выше, чем внутри блока, а внутриблочные подвижки формируются за счет межблочных подвижек блоков более низкой иерархии. Геодинамическая активность структурного нарушения, как показывают многочисленные исследования, не связана с его рангом. Более того, даже по самому нарушению может наблюдаться неравномерность в распределении геодинамических параметров [12]. Основываясь только на таком представлении о геомеханической модели массива, выбрать безопасную и устойчивую площадку довольно сложно. Однако массив является открытой нелинейной системой, в которой под действием геодинамических движений в деструктурированной иерархически блочной среде происходит процесс самоорганизации – формирование блоков, включающих структурные блоки различных рангов, сохраняющих относительную целостность и свойства, близкие к сплошной среде. Границы таких вторичных структур являются зонами повышенной концентрации геодинамических смещений и деформаций. Поэтому задача выбора безопасных площадок строительства сводится к выявлению таких блоков, чтобы не допустить размещение объекта на их границах, где имеют место повышенные значения деформаций, влияющие на его устойчивость.

Для выявления вторичного структурного блока необходима геодинамическая диагностика территории по телескопическому принципу: от районов площадью в десятки-сотни квадратных километров до площадок, сопоставимых по размеру с размещаемым объектом. Так, например, для выбора мест безопасного размещения АЭС в отечественной и мировой практике проводятся изыскания региона, района (100 × 150 км), пункта (10 × 15 км), площадки (3 × 5 км) АЭС, позволяющие по мере приближения к месту размещения объекта повышать детальность и достоверность обоснования безопасности. Поскольку при блоковой модели строения среды деформации не являются инвариантной величиной, необходимы знания закономерностей распределения деформаций на различных базах измерения и за разные временные интервалы. Кроме того, при переходе исследований от одного пространственно-временного уровня к другому необ-

ходимы свои деформационные критерии, величины которых в нормативных документах не приводятся.

Следует отметить, что ни в одном нормативном документе не учитывается фактор цикличности современных геодинамических движений, имеющий важное значение при геодинамической диагностике территорий. В зависимости от продолжительности сеанса измерений и частоты опроса выделяются различные циклы движений, в связи с чем их возможно подразделить на длиннопериодные движения с циклами от нескольких суток до нескольких лет, трендовые, которые имеют относительно постоянную скорость и направленность, и короткопериодные с продолжительностью циклов от нескольких минут до нескольких часов. На большие циклы накладываются циклы меньшей продолжительности. Трендовые движения являются скорее всего движениями с большим периодом колебаний. Зачастую амплитуды циклических движений превосходят по величине трендовую составляющую.

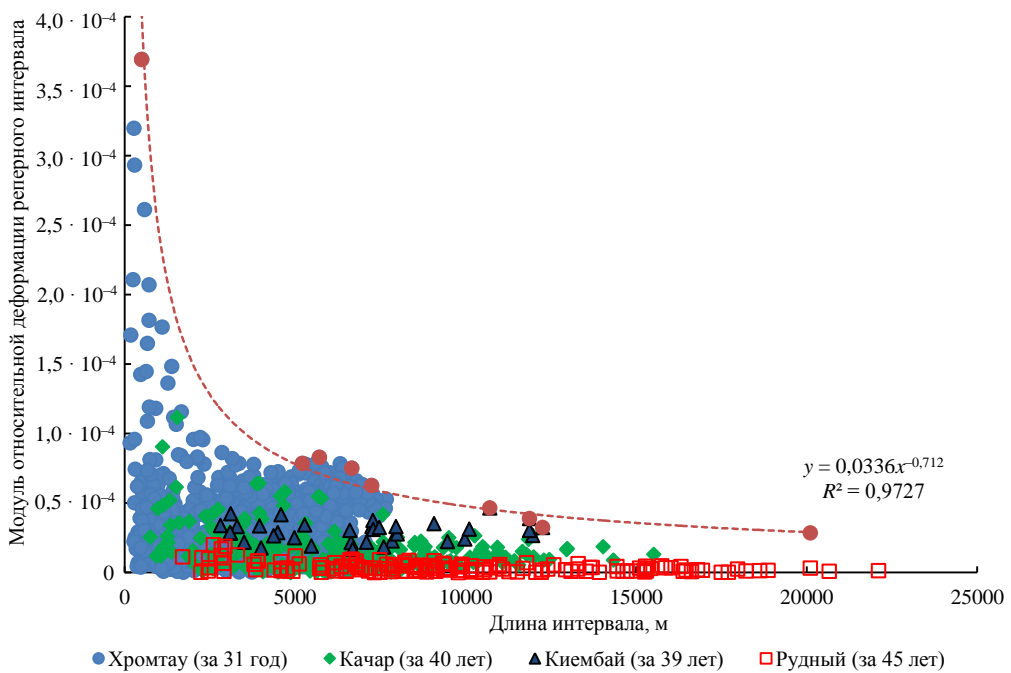


Рис. 1. Распределение модуля относительных горизонтальных деформаций при длинах реперных интервалов до 25 км (по данным трендовых движений за период 35–40 лет на месторождениях России и Казахстана)

Fig. 1. Distribution of the modulus of relative horizontal deformations at bench mark intervals lengths up to 25 km (according to the data of trend movements for the period of 35–40 years at the deposits of Russia and Kazakhstan)

Цикличность современных геодинамических движений может по-разному влиять на объекты недропользования. Объекты, попадающие на активные тектонические структуры с трендовыми движениями, нарушаются, когда в их конструкции достигаются предельные деформации. Воздействие циклических движений может проявляться в непосредственном влиянии циклических деформаций на сам объект, когда амплитуда знакопеременных деформаций превысит допустимые деформации конструктивных элементов сооружения, от проявления усталостных эффектов при деформациях ниже допустимых значений, а также через изменение свойств массива горных пород в разломных зонах под влиянием переменных циклических нагрузений [13].

Выявлению причин цикличности движений посвящено много исследований [14–17]. Однозначно лишь можно отметить, что обусловлена она множеством факторов эндогенного и экзогенного характера. Несмотря на то что вопросы о степени влияния на напряженно-деформированное состояние горного массива того или иного фактора, обуславливающего переменность движений, остаются пока спорными и неоднозначными, очевидно, что значения деформаций, определенные без учета цикличности движений, могут быть занижены. Особенно это касается короткопериодных движений, имеющих циклы от нескольких минут до нескольких часов, поскольку их прямое или опосредованное воздействие на объект недропользования может быть существенным.

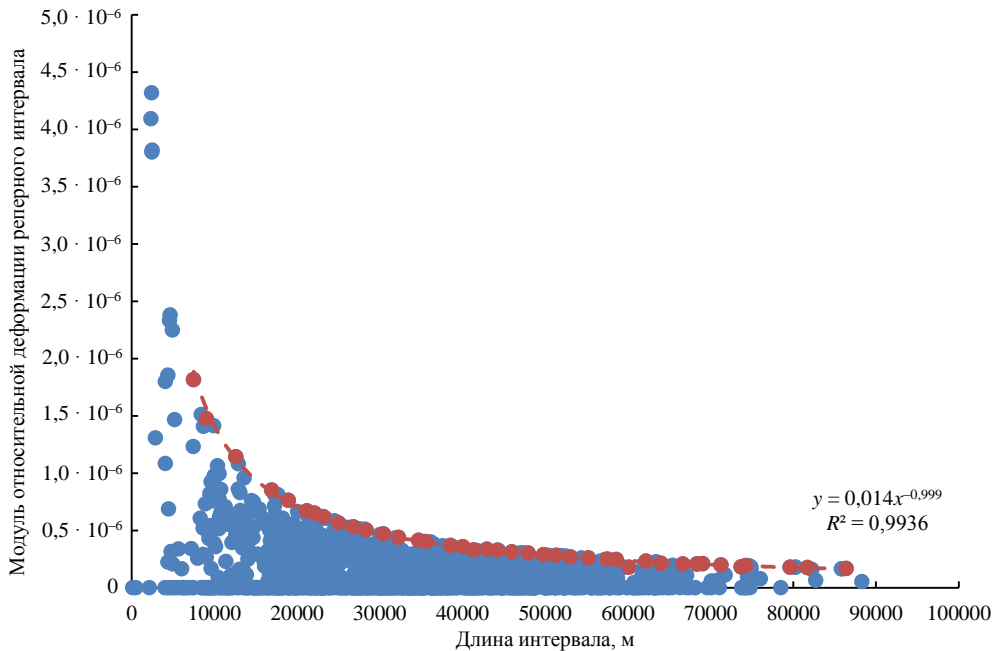


Рис. 2. Распределение модуля относительных горизонтальных деформаций при длинах реперных интервалов до 90 км (по данным постоянно действующих станций ГНСС с годовой периодичностью, район Лос-Анджелеса, США)

Fig. 2. Distribution of the modulus of relative horizontal deformations at bench mark intervals lengths up to 90 km (according to the data from continuously operating GNSS stations with annual periodicity, region of Los-Angeles, USA)

**Результаты исследования распределения деформаций в иерархически блочном массиве на разных пространственно-временных уровнях.** Для исследования пространственно-временных закономерностей распределения деформаций, вызываемых современными геодинамическими движениями, были использованы результаты дискретных и непрерывных мониторинговых геодезических наблюдений, полученные ИГД УрО РАН на локальных геодинамических полигонах России и Казахстана, а также данные постоянно действующих станций ГНСС. В качестве исследуемого параметра выбрано значение модуля относительных горизонтальных деформаций для разных длин реперных интервалов.

На рис. 1–3 представлены примеры графиков распределения модуля горизонтальных деформаций по длинам реперных интервалов от сотен метров до 90 км за разные временные промежутки.

На рис. 1 получены зависимости модуля относительных деформаций от длины реперного интервала в результате определения трендовых движений пунктов

на базах до 25 км за период 35–40 лет на месторождениях России и Казахстана: Качарском железорудном, Киембаевском хризотиласбестовом, хромитовых месторождениях Донского ГОКа (г. Хромтау), Соколовском и Сарбайском месторождениях (г. Рудный). Согласно графику, средний уровень деформаций за 40-летний период различен для разных территорий, но максимальные значения деформаций находятся в диапазоне от  $4 \times 10^{-5}$  до  $4 \times 10^{-4}$ .

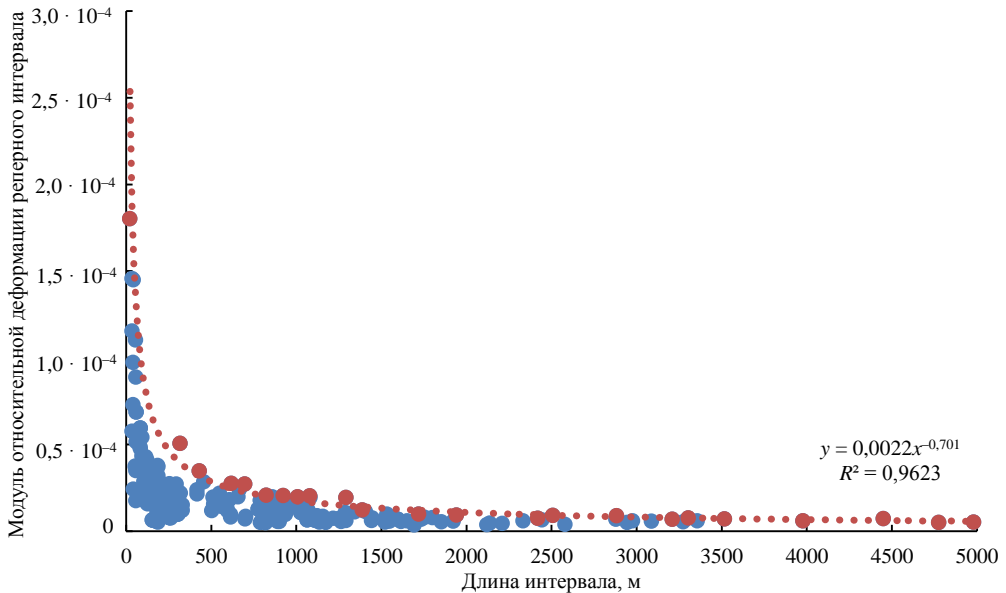


Рис. 3. Распределение модуля относительных горизонтальных деформаций при длинах реперных интервалов до 5 км (по данным короткопериодных движений на геодинамических полигонах Урала и Казахстана)

Fig. 3. Distribution of the modulus of relative horizontal deformations at benchmark intervals lengths up to 5 km (according to the data of short-period movements at geodynamic polygons of the Urals and Kazakhstan)

Пример распределения деформаций с годовой периодичностью получен в результате обработки данных постоянно действующих станций ГНСС на территории площадью  $70 \times 90$  км в районе Лос-Анджелеса (США) при длинах реперных интервалов от 2 до 90 км (рис. 2). За годовой период на данных базах измерения максимальные значения деформаций находятся в диапазоне от  $2 \times 10^{-7}$  до  $4,5 \times 10^{-6}$ .

Деформации, вызываемые короткопериодными движениями, представлены для интервалов не более 5 км, поскольку только на малых базах движения регистрируются на достаточном уровне точности (рис. 3). Деформации рассчитаны по размаху между максимальным и минимальным значениями смещений за весь сеанс наблюдений. Измерения короткопериодных движений выполнены на локальных геодинамических полигонах Урала и Казахстана площадью  $10 \times 15$  км при длинах реперных интервалов от десятков метров до 5 км. Методика определения короткопериодных движений изложена в работе [18]. Из графика видно, что за суточный сеанс наблюдений короткопериодная составляющая геодинамических движений может достигать и даже превышать трендовую составляющую за десятки лет.

Таким образом, на любом пространственно-временном уровне по мере увеличения базы измерений механизм деформирования массива горных пород характеризуется переходом от условий, отображаемых моделью дискретной среды, к условиям сплошной квазиупругой среды, когда количество блоков увеличивается и взаимные разнонаправленные подвижки структурных блоков компенсируются.

Используя эмпирические результаты распределения относительных горизонтальных деформаций на различном пространственно-временном уровне, можно оценить их экстремальные значения, которые могут быть использованы в качестве критических деформационных критериев при исследовании территорий различной площади (район, пункт, площадка) и выборе параметров мониторинговой сети.

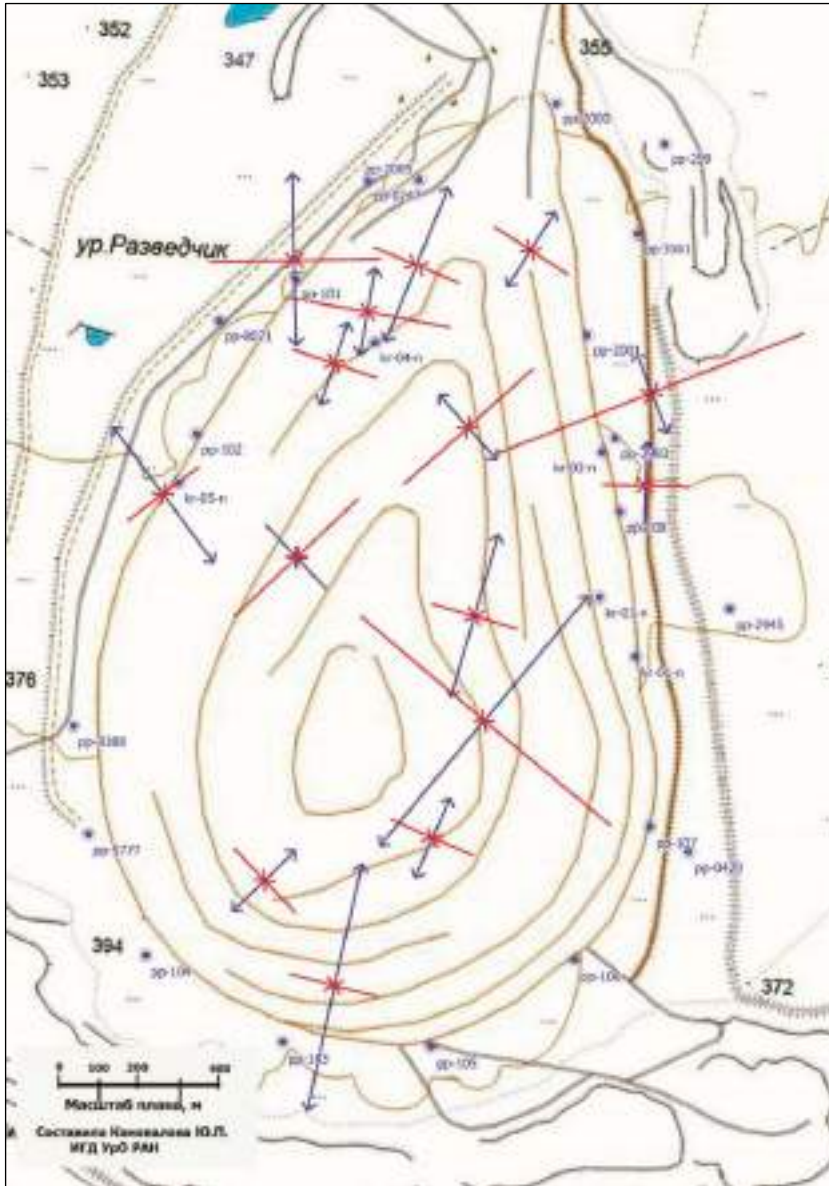


Рис. 4. Тензоры горизонтальных деформаций на территории карьера АО «Оренбургские минералы» за период 2006–2017 гг.

Fig. 4. Tensors of horizontal deformations at the territories of an open pit of JSC Orenburg Minerals for the period of 2006–2017

Для учета фактора цикличности геодинамических движений, имеющих циклы от нескольких минут до нескольких часов, была разработана методика, позволяющая по амплитудам короткопериодных движений, представляющих собой разность между минимальным и максимальным значениями смещений в наборе

дискретных измерений суточного сеанса наблюдений, и преобладающим направлениям смещений реперов определить параметры тензоров деформаций горного массива и получить поле максимальных деформаций за многочасовой период.

В ходе проведенных исследований и экспериментов была установлена взаимосвязь в ориентации главных осей тензора деформаций, рассчитанного по данным

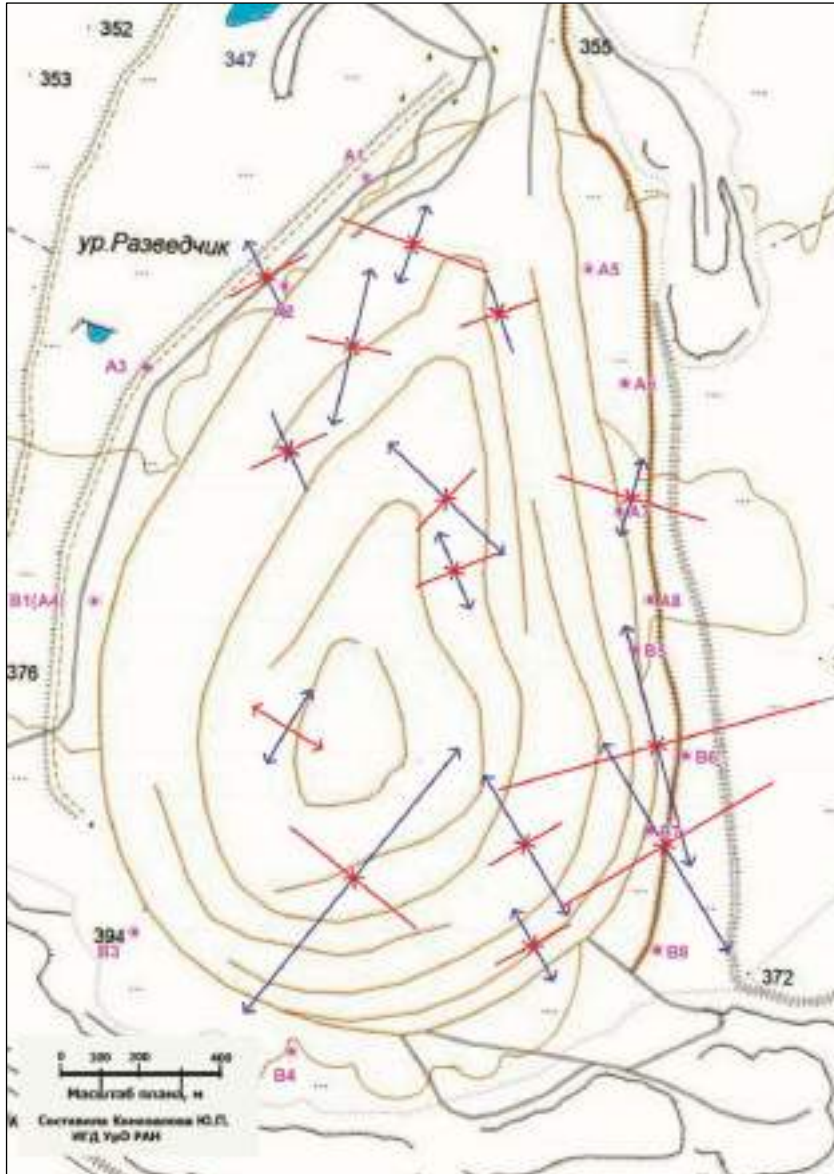


Рис. 5. Тензоры горизонтальных деформаций на территории карьера АО «Оренбургские минералы» за суточный сеанс непрерывных измерений короткопериодных геодинамических движений

Fig. 5. Tensors of horizontal deformations at the territories of an open pit of JSC Orenburg Minerals for the period of a day's session of continuous measurements of short-period geodynamic movements

дискретных измерений за длительный промежуток времени (раз в несколько лет), с ориентацией главных осей тензора деформаций, полученного за многочасовой сеанс непрерывных измерений с дискретностью замера 10–20 мин. На рис. 4 и 5



представлены примеры определения тензоров горизонтальных деформаций за 10-летний период и за суточный сеанс непрерывных измерений короткопериодных движений в окрестностях карьера АО «Оренбургские минералы». В обоих случаях измерения выполнены спутниковыми методами на идентичных пунктах опорной маркшейдерской сети при расстояниях на базах от 200 м до 2 км. Выявленная закономерность может быть использована для экспресс-диагностики напряженно-деформированного состояния массива за непродолжительное время по результатам измерений непрерывных короткопериодных движений.

**Выводы.** Выбор безопасных мест размещения объектов недропользования основывается на использовании явления вторичного структурирования иерархически блочной самоорганизующейся среды под воздействием современных геодинамических движений. Для выявления вторичного структурного блока необходимы знания закономерностей распределения деформаций, обусловленных этими движениями, на разном пространственно-временном уровне. Анализ и обобщение большого объема параметров современных геодинамических движений позволили выявить некоторые особенности в их распределении.

1. Установлены максимальные возможные значения деформаций для различных территорий на базах от десятков метров до 90 км за временной интервал от нескольких часов до 3–4 десятков лет. Полученные значения могут использоваться в качестве критических деформационных критериев при исследовании территорий различной площади и выборе оптимальных параметров мониторинговой сети.

2. При исследовании короткопериодных и трендовых движений, имеющих периоды от нескольких десятков минут до нескольких лет, установлено, что короткопериодная составляющая может достигать и даже превышать трендовую составляющую для одних и тех же баз измерений. При сопоставлении деформационных параметров трендовых и короткопериодных движений одних и тех же реперов мониторинговой сети установлена взаимосвязь в ориентации главных осей тензоров деформаций, рассчитанных по данным измерений за длительный промежуток времени и за суточный сеанс непрерывных измерений с дискретностью замера 10–20 мин. Выявленная закономерность позволяет осуществлять оценку напряженно-деформированного состояния массива горных пород за непродолжительный непрерывный сеанс измерений короткопериодных движений.

Методика выбора и оценки вторичных структурных блоков под безопасное размещение объектов по фактору геодинамических движений должна включать:

- использование комплексного подхода, т. е. изучение структурно-тектонических особенностей массива (геофизические методы) и определение геодезическими методами основных параметров движений: амплитуды, частоты (периода) циклов и деформаций, вызываемых этими движениями;

- проведение исследований на различных пространственных уровнях, начиная с территорий от 100–150 км до размеров, сопоставимых с размерами объекта, с учетом закономерностей распределения деформаций на разных базах измерения;

- проведение исследований на различных временных уровнях (трендовые и короткопериодные движения);

- комбинирование спутниковых и наземных методов наблюдения.

Использование выявленных закономерностей распределения геодинамических движений при выборе безопасных мест размещения ответственных объектов недропользования позволяет существенно повысить достоверность оценок альтернативных площадок и тем самым обеспечить безопасную эксплуатацию зданий и сооружений. Основные принципы, на которых базируется методика, неоднократно использовались для геодинамической диагностики различных территорий, а результаты ее практического применения для выбора площадок размещения сооружений атомных станций изложены в работах [19, 20].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М: Агентство экологических новостей, 1999. 220 с.
2. Гуляев А. Н., Дружинин В. С., Демина А. Ю., Гладышева Р. М., Осипов В. Ю., Косолапов А. А. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга // Инженерная геология. 2008. № 2. С. 13–16.
3. Тагильцев С. Н., Осипова А. Ю., Лукьянов А. Е. Выделение активных тектонических структур на территории г. Екатеринбурга // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. 14–15 октября 2009 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. С. 28–36.
4. Сашурин А. Д. Геодинамические истоки крупнейших природно-техногенных катастроф // ГИАБ. 2011. № 11. С. 225–236.
5. Учитель И. Л. Разрушительные свойства геодеформаций. Одесса: Астропринт, 2010. 222 с.
6. Селюков Е. И., Стигнеева Л. Т. Краткие очерки практической микрогеодинамики. СПб.: Питер, 2010. 175 с.
7. Nikoladis R. Observation of geodetic and seismic deformation with the global positioning system. University of California, San Diego, California. 2002. 249 p.
8. Серебрякова Л. И. Оценка геодинамической активности территории строительства Крымской АЭС по геодезическим данным // Геодезия и картография. 2012. № 6. С. 46–52.
9. Серебрякова Л. И. Закономерности и особенности вертикальных движений земной поверхности территории Игналинской АЭС // Геодезия и картография. 2012. № 7. С. 57–63.
10. Татаринов В. Н. Ново-Воронежская АЭС. GPS-наблюдения в районе АЭС. М.: ГЦ РАН, 2000. 12 с.
11. Татаринов В. Н., Морозов В. Н. Прогнозирование устойчивости геологической среды при выборе мест размещения и эксплуатации объектов ядерного топливного цикла // Инженерная экология. 2008. № 5. С. 10–16.
12. Cruikshank Kenneth M., Peterson Curt D. Current state of strain in the central cascadia margin derived from changes in distance between GPS stations // Open Journal of Earthquake Research. 2015. Vol. 4. P. 23–36.
13. Сашурин А. Д. Современная геодинамика и техногенные катастрофы // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. 19–21 ноября 2002 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. С. 180–191.
14. Bos M.S., Bastos L., Fernandes R. M. S. The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series // Journal of Geodynamics. 2010. Vol. 49. P. 205–209.
15. Biessy G., Moreau F., Dauteuil O., Bour O. Surface deformation of an intraplate area from GPS time series // Journal of Geodynamics. 2011. Vol. 52. P. 24–33.
16. He Xiaoxing, Hua Xianghong, Yu Kegen, Xuan Wei, Lu Tieding, Zhang W., Chen X. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering // Advances in Space Research. 2015. Vol. 55. P. 1316–1327.
17. Güllal Engin, Erdogan Hediye, Tiryakioglu Ibrahim. Research on the stability analysis of GNSS reference stations network by time series analysis // Digital Signal Processing. 2013. Vol. 23. P. 1945–1957.
18. Панжин А. А. Исследование короткопериодных деформаций разломных зон верхней части земной коры с применением систем спутниковой геодезии // Маркшейдерия и недропользование. 2003. № 2. С. 43–54.
19. Коновалова Ю. П. Исследование циклических короткопериодных геодинамических деформаций территорий при выборе площадки под строительство атомных станций // ГИАБ. 2010. № 7. С. 269–274.
20. Пустуев А. Л. Исследование трендовых геодинамических деформаций при выборе площадки для строительства атомных станций // ГИАБ. 2011. № 1. С. 282–290.

Поступила в редакцию 28 февраля 2018 года

Коновалова Ю. П. Особенности учета геодинамических факторов при выборе безопасных площадок размещения ответственных объектов недропользования // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 6–17.

**Сведения об авторах:**

**Коновалова Юлия Павловна** – научный сотрудник лаборатории сдвижения горных пород Института горного дела Уральского отделения РАН. E-mail: lisjul@mail.ru

## SOME PECULIARITIES OF TAKING INTO ACCOUNT GEODYNAMIC FACTORS WHEN SELECTING SAFE PLACEMENT AREAS FOR IMPORTANT SUBSOIL USE FACILITIES

Konovalova Iu. P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Introduction.** Problems of important subsoil use facilities safe placement and operation are extremely topical. Safe operation of any facility depends not only on its constructive features but also on reliable and justified estimation of effects which occur in the terrestrial environment, i.e. in the rock massif. Current geodynamic movements are among the factors which determine stress-strained state of a massif. However, special research aimed at determination and assessment of the geodynamic movements failed to find proper reflection in especially important facilities design and construction. Normative base imperfection and difficulties in taking into account space-time distribution of geodynamic movements parameters are the main reasons for the absence of rock massif geodynamic diagnostics methodology suitable for large-scale implementation in the practice of engineering researches.

**Research aim** is to investigate deformations distribution as a basic parameter determining the state of a facility conditioned on current geodynamic movements in a hierarchically blocky rock massif at various space-time levels to improve the methodology of taking into account geodynamic factors when selecting safe placement areas.

**Research methodology.** The researches used the results of geodetic monitoring of trend and cyclic short-period geodynamic movements obtained at the local geodynamic polygons at bases from dozens of meters up to 25 km, as well as the data from constantly operating stations of global navigation satellite system at the territory of 70 × 90 km. For various space-time measurement bases, geodynamic movements deformation parameters were calculated, deformation fields were built.

**Results.** According to the data of repeated geodetic measurements at bases from dozens of meters up to 90 km for a time period of several hours up to 40 years, dependences of relative deformations modulus on bench mark interval length were determined. On the basis of the dependences deformation maximum values are obtained which can be used as critical deformation criteria when investigating the territories of various area and selecting monitoring network parameters. When comparing deformation parameters of trend and short-period movements of one and the same bench marks of observation networks, the correlation in the principal tensor axes orientation was determined calculated according to the data of measurements for an extended period of time and for a day's session of continuous measurements with measurement discrete time of 10–20 min.

**Results application area.** The determined regularity can be used for express-diagnostics of stress-strained state of a massif in a short period of time according to the results of continuous short-period movements measurements.

**Conclusions.** The acquired results make it possible to increase rock massif state assessments reliability according to the geodynamic factor when selecting important subsoil use facilities safe placement areas.

**Key words:** current geodynamic movements; important subsoil use facilities; nuclear power plant; hierarchically blocky massif; self-organization; deformation; geodynamic diagnostics.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-6-17

### REFERENCES

1. Kuz'min Iu. O. *Sovremennaiia geodinamika i otsenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii* [Current geodynamics and the assessment of geodynamic risk at subsoil use]. Moscow, Agentstvo ekologicheskikh novosti Publ., 1999. 220 p.
2. Guliaev A. N., Druzhinin V. S., Demina A. Iu., Gladysheva R. M., Osipov V. Iu., Kosolapov A. A. [Current active zones of disturbance of the upper part of the earth's crust continuity at the territory of Ekaterinburg]. *Inzhenernaia geologiya – Engineering Geology*, 2008, no. 2, pp. 13–16. (In Russ.)
3. Tagil'tsev S. N., Osipova A. Iu., Luk'ianov A. E. [Discovering active tectonic structures at the territory of Ekaterinburg]. *Geomekhanika v gornom dele: dokl. nauch.-tekh. konf. 14–15 oktiabria 2009 g.* [Proc. of Research-to-Pract. Conf. of 14th–15th October, 2009 “Geomechanics in Mining”]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2009, pp. 28–36.
4. Sashurin A. D. [Geodynamic sources of the largest natural-technogenic disasters]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. 11, pp. 225–236. (In Russ.)
5. Uchitel' I. L. *Razrushitel'nye svoistva geodeformatsii* [Destructive features of deformation]. Odessa, Astroprint Publ., 2010. 222 p.
6. Seliukov E. I., Stigneeve L. T. *Kratkie ocherki prakticheskoi mikrogeodinamiki* [Sketches of practical microgeodynamics]. St. Petersburg, Piter Publ., 2010. 175 p.
7. Nikoladis R. Observation of geodetic and seismic deformation with the global positioning system. University of California, San Diego, California. 2002. 249 p.

8. Serebriakova L. I. [Assessment of geodynamic activity of the Crimea NPS construction according to the geodetic data]. *Geodeziia i kartografiia – Geodesy and Cartography*, 2012, no. 6, pp. 46–52. (In Russ.)
9. Serebriakova L. I. [Regularities and peculiarities in the vertical movements of the earth's surface at the territory of Ingalina NPP]. *Geodeziia i kartografiia – Geodesy and Cartography*, 2012, no. 7, pp. 57–63. (In Russ.)
10. Tatarinov V. N. *Novo-Voronezhskaya AES. GPS-nabliudeniia v raione AES* [Novovoronezh NPS. GPS observations in the region of the NPS]. Moscow, GC RAS Publ., 2000. 12 p.
11. Tatarinov V. N., Morozov V. N. [Forecasting geological environment sustainability when selecting placement and operation areas of nuclear fuel cycle facilities]. *Inzhenernaia ekologiia – Environmental Engineering*, 2008, no. 5, pp. 10–16. (In Russ.)
12. Cruikshank Kenneth M., Peterson Curt D. Current state of strain in the central cascadia margin derived from changes in distance between GPS stations. *Open Journal of Earthquake Research*, 2015, vol. 4, pp. 23–36.
13. Sashurin A. D. [Current geodynamics and technogenic disasters]. *Geomekhanika v gornom dele: dokl. nauch.-tekhn. konf. 19–21 noiabria 2002 g.* [Proc. of Research-to-Pract. Conf. of 19th–20th November, 2002 “Geodynamics in Mining”]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2003, pp. 180–191. (In Russ.)
14. Bos M. S., Bastos L., Fernandes R. M. S. The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series. *Journal of Geodynamics*, 2010, vol. 49, pp. 205–209.
15. Biessy G., Moreau F., Dauteuil O., Bour O. Surface deformation of an intraplate area from GPS time series. *Journal of Geodynamics*, 2011, vol. 52, pp. 24–33.
16. He Xiaoxing, Hua Xianghong, Yu Kegen, Xuan Wei, Lu Tieding, Zhang W., Chen X. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering. *Advances in Space Research*, 2015, vol. 55, pp. 1316–1327.
17. Güllal Engin, Erdogan Hediye, Tiryakioglu Ibrahim. Research on the stability analysis of GNSS reference stations network by time series analysis. *Digital Signal Processing*, 2013, vol. 23, pp. 1945–1957.
18. Panzhin A. A. [Investigation into short-period deformations of fracture zones of the upper part of the earth's crust with satellite geodesy networks]. *Marksheideriia i nedropol'zovanie – Mine Surveying and Subsurface Use*, 2003, no. 2, pp. 43–54. (In Russ.)
19. Konovalova Iu. P. [Research of cyclic short-period geodynamic deformations of territories at the choice of platforms for nuclear stations building]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 7, pp. 269–274. (In Russ.)
20. Pustuev A. L. [The study on trend geodynamic deformation during choosing the construction sites for atomic plan]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. 1, pp. 282–290. (In Russ.)

### Information about authors

**Konovalova Iuliia Pavlovna** – researcher of the Laboratory of Rocks Displacement, Institute of Mining, UB RAS. E-mail: lisjul@mail.ru

---