

УДК 550.34:621.039

УЧЁТ ГРАВИТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Великанов А.Е., Аристова И.Л.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Анализируется сейсмичность территории Казахстана в местах расположения основных объектов атомной отрасли и её взаимосвязь с аномалиями силы тяжести в свободном воздухе, совпадающими с природными объектами избыточной массы геологической среды. На примере Семипалатинского испытательного полигона (СИП) рассматриваются гравитационные факторы избыточных масс геологической среды с повышенной сейсмичностью, определяющие наличие основных и второстепенных активных разломов, способных повлиять на сейсмическую безопасность объектов атомной отрасли.

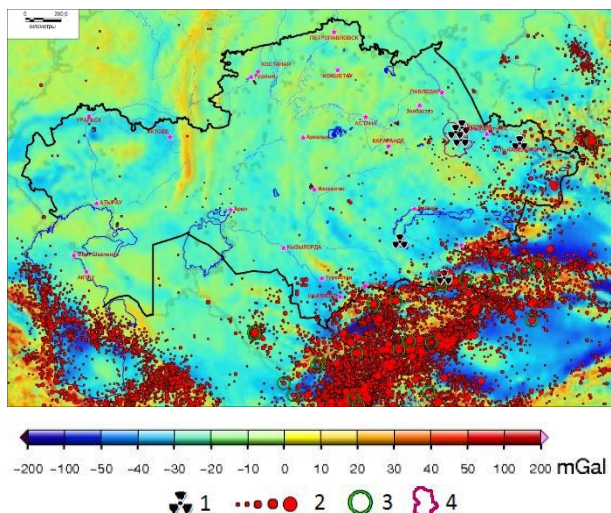
Для понимания природы сейсмичности территории СИП с учётом гравитационных факторов геологической среды необходим пространственный охват и анализ сейсмичности всей территории Казахстана. При повседневной работе по комплексному анализу сейсмических событий с имеющимися картографическими и гравиметрическими картами территории Казахстана была замечена приуроченность многих эпицентров средних и сильных землетрясений тектонического характера к локальным аномалиям и аномальным зонам силы тяжести. Эта приуроченность стала особенно заметной при анализе гравиметрических карт в редукции Фая и близким к ним по содержанию карт аномалий силы тяжести в свободном воздухе [1], при создании которых не учитывается промежуточный слой геологической среды, но учитываются все формы положительного рельефа возвышенной и горной местности. Гравиметрические карты в редукции Буге (Bouguer gravity anomaly) дают возможность выявить аномалии силы тяжести, связанные с геологической средой повышенной плотности независимо от форм рельефа, как в равнинной, так и в горной местности. Гравиметрические карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе (free-air gravity anomaly) и в редукции Фая (Faye gravity anomaly) позволяют выявить общие локализованные аномалии с избыточной массой, связанные как с участками пород повышенной плотности, так и с возвышенными формами рельефа, которые даже при нормальной или пониженной плотности пород выявляют *возмущающую избыточную массу* в данном месте. Термин «гравитационные аномалии» (т.е. аномалии силы тяжести) как *Gravity Disturbances* в дословном переводе означает «гравитационные возмущения». Следует понимать, что гравитационные возмущения локализованных избыточных масс геологической среды вызываются преимущественно действием *лунно-солнечных приливных сил*, которые, по всей видимости, часто способствуют генерации сейсмотектонических напряжений на глубине. Таким образом, можно говорить о *связи сейсмичности с избыточной массой геологической среды, выраженной в наличии*

неоднородности пород с повышенной плотностью даже в относительно равнинных местах или в виде увеличенного объёма горной массы в горной местности. Термин *избыточная масса* геологической среды давно используется в гравиметрических исследованиях изостазии при определении изостатического слоя в земной коре и верхней мантии, а также при решении прямых и обратных задач гравиразведки.

Для исследования сейсмичности территории в её связи с аномалиями силы тяжести в местах расположения объектов атомной отрасли в Казахстане использованы: 1) общедоступные данные средств массовой информации о расположении основных объектов атомной отрасли; 2) доступные через интернет в международных центрах геоинформации данные спутниковых гравиметрических съёмок [2]; 3) табличные данные о сейсмичности территории Центральной Азии, начиная с исторических времён по 2017 г. [3, 4]. В таблице приведены основные объекты атомной отрасли в Казахстане, к которым отнесены действующие исследовательские ядерные реакторы, хранилище ядерного топлива, планируемое строительство АЭС.

Таблица. Основные объекты атомной отрасли в Казахстане

Код объекта	Название объекта	Примечание
КТМ	Казахстанский материаловедческий токамак (тороидальная камера с магнитными катушками), Курчатов	работает
Байкал-1	КИР (комплекс исследовательских реакторов) «Байкал-1», СИП	работает
ИГР	Импульсный графитовый реактор, СИП	работает
ИБГ.1М	Исследовательский водоохлаждаемый реактор, СИП	работает
ВВР-К	Водо-водяной реактор - кипящий, ИЯФ, пос. Алатау Алматинской обл.	работает
БНОУ	Банк низкообогащённого урана МАГАТЭ, Усть-Каменогорск, ВКО	работает
Улькен	АЭС Улькен, Алматинская обл.	планируется



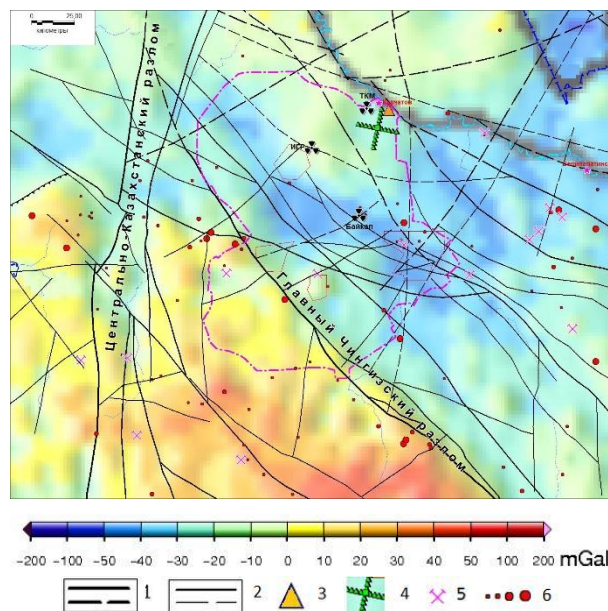
1 – объекты атомной отрасли в Казахстане; 2 – эпицентры землетрясений по возрастанию энергетического класса для значений <5; 9; 12,5; ≥15; 3 – эпицентры катастрофических землетрясений; 4 – контур СИП

Рисунок 1. Карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе территории Казахстана [2] с местоположением основных объектов атомной отрасли и эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г.

Местоположение основных объектов атомной отрасли на территории Казахстана показано на карте аномалий силы тяжести в свободном воздухе [1] с эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г. (рисунок 1).

Из рисунка 1 просматривается связь сейсмичности территории Казахстана и прилегающих площадей с аномалиями силы тяжести в свободном воздухе: высокий уровень сейсмичности по количеству и интенсивности землетрясений связан с краевой градиентной частью зоны аномалий силы тяжести в свободном воздухе. В этой зоне на фоне ближайших соседних пониженных значений гравиметрического поля краевая часть избыточной массы геологической среды, отображаемая быстро возрастающими градиентными значениями гравиметрического поля и высот рельефа, испытывает наибольшее действие лунно-солнечных приливных сил. Здесь, как правило, и находятся (или возникают) активные тектонические разломы, по которым происходят подвижки блоков земной коры, вызывающие землетрясения. Масштабность и интенсивность наблюдаемой сейсмичности прямо зависит от интенсивности гравиметрического градиента, а также от размеров градиентных зон по периферии участков, занимаемых локализованными объёмами избыточных масс. Так, например, на карте аномалий силы тяжести в свободном воздухе хорошо видна Тянь-Шанская структура аномалий силы тяжести СВ простирания, где по периферии с северной и южной стороны в зонах контрастного краевого градиента быстро изменяющихся значений поля группируются эпицентры сильных и катастрофических землетрясений.

Из основных объектов атомной отрасли в наиболее опасной близости к зонам сильной сейсмичности в районе аномалий силы тяжести, связанных с избыточными массами геологической среды, находятся исследовательский реактор ВВР-К, ИЯФ и, в меньшей степени, хранилище ядерного топлива БНОУ МАГАТЭ в Усть-Каменогорске. Рассматриваемая площадка под строительство АЭС Улькен отличается более благоприятной сейсмической обстановкой. Исследовательские ядерные реакторы на территории СИП расположены в районе с относительно слабой сейсмичностью, зависящей в основном от воздействия далёких сильных землетрясений, эпицентры которых расположены в горной местности Восточного Казахстана и в соседней России. В тоже время, на территории СИП и площади, прилегающей с юго-запада, отмечаются зоны аномалий силы тяжести, в пределах которых располагаются эпицентры довольно ощутимых землетрясений (рисунок 2).



1 – основные разломы в коренных породах (сплошная линия) и перекрытые рыхлыми отложениями (пунктир); 2 – второстепенные разломы; 3 и 4 – сейсмические станции Курчатов и Курчатов-Крест, соответственно; 5 – карьер; 6 – эпицентры землетрясений по возрастанию энергетического класса для значений <5; 9; 12,5; ≥15;

Рисунок 2. Карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе территории СИП и прилегающих площадей с местоположением объектов атомной отрасли и эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г.

Расположенная с юго-западной стороны СИП площадная зона аномалий силы тяжести в свободном воздухе с повышенной интенсивностью до 25 мГал имеет внушительные размеры – 350×150 км, и вытянутость в СЗ направлении. В западной части она разделяется меридиональной линейной зоной Центрально-Казахстанского разлома, а с северо-восточной стороны ограничена по периферии сейсмоактивным Главным Чингизским разломом. Здесь и отмечается

линейная краевая градиентная часть зоны аномалий силы тяжести, к которой приурочены группы эпицентров ощутимых землетрясений, приуроченных в плане к небольшим горным хребтам. В северной части одна такая группа землетрясений с магнитудой до 5,8 (энергетический класс $K=14,7$) совпадает с хребтом Муржик, а в юго-восточной части вторая группа землетрясений магнитудой до 5,3 ($K=12,2$) совпадает с Чингизским хребтом. Возвышенные формы рельефа этих хребтов с относительной высотой до 200 м создают локализованные избыточные массы геологической среды, сложенной типичными вулканогенно-осадочными породами.

При использовании более детальных гравиметрических карт и данных сети специального сейсмического мониторинга полевыми сейсмическими станциями можно более детально выделить слабые второстепенные участки и зоны аномалий силы тяжести, а также второстепенные сейсмоактивные тектонические разломы по их периферии. По линейным зонам

этих разломов могут осуществляться микроподвижки пород, влияющие на устойчивость геологической среды.

Таким образом, при оценке сейсмической опасности исследуемых территорий следует использовать гравитационные поля для описания геологической среды с избыточной массой, непосредственно влияющей на природную тектоническую сейсмичность. Элементы гравитационного поля исследуемой территории Семипалатинского испытательного полигона, характеризующие интенсивность аномалий силы тяжести, размеры этих аномалий и зон аномалий силы тяжести, наличие и протяжённость краевых градиентных частей по периферии зон аномалий силы тяжести являются теми гравитационными факторами геологической среды, которые помогут выявить сейсмоактивные тектонические разломы на территории СИП, в том числе представляющие опасность для ядерных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аномалии и редукции силы тяжести [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-96694.html>
2. Гравиметрическая база данных WGM2012 Международного бюро гравиметрии (BGI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012>.
3. Mikhailova, N.N. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 / N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, I.L. Aristova, G. Kulikova, S. Ullah, M. Pilz, D. Bindi // *Annals of Geophysics*, 2015. – Vol 58. – No 1. – S102 (P. 1–9). – doi:10.4401/ag-6681.
4. Каталог землетрясений KNDC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskiyebyulleteni/automatic-bulletin>.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАР ҮШІН СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПТІ БАҒАЛАУЫНДА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАНЫҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРЫН ЕСЕПKE АЛУ

А.Е. Великанов, И.Л. Аристова

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Негізгі атомдық объектілері орналасқан жерлерінде Қазақстан аумағының сейсмикалылығы және, геологиялық ортаның артық массаның табиғи объектілерімен қатар келетін бос аудағы ауырлық күшінің аномалияларымен оның байланысы талданылады. Семей сынау полигоны (ССП) үлгісінде, ядролық қондырғылардың сейсμοқауіпсіздігіне ықпал етуге мүмкіндігі бар негізгі және екінші дәрежелі белсенді жарылымдар бар болуын анықтайтын, жоғары сейсмикалылығымен геологиялық ортаның артық массаларының гравитациялық факторларын қарастырылады.

CONSIDERATION OF GRAVITATION FACTORS OF GEOLOGIC MEDIUM AT ASSESSMENT OF SEISMIC HAZARD FOR NUCLEAR FACILITIES ON THE TERRITORY OF SEMIPALATINSK TEST SITE

A.Ye. Velikanov, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The article considers seismicity of Kazakhstan territory at the location places of main nuclear facilities and its interrelation with gravity anomalies in free air coinciding with natural sites of excessive mass of geological environment. By example of Semipalatinsk Test Site territory (STS) we investigate the gravitational factors of excessive mass of geological environment with high seismicity showing the availability of main and secondary active faults able to influence on seismic safety on nuclear facilities.