

УДК 550.348.436+550.34

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕАКТОРА ВВР-К ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Аристова И.Л.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты повторных мониторинговых исследований сейсмоструктурной обстановки района расположения реактора ВВР-К близ города Алматы по прошествии 20 лет со времени предыдущих работ. Исследования включали новые виды работ и анализ новых данных: детальное дешифрирование космических снимков, уточнение тектонической обстановки, анализ локальной сейсмичности, изучение параметров сейсмического режима. Более детально рассмотрены материалы по ближней зоне реактора в радиусе 25 км. Подтверждён вывод предыдущих исследований о нахождении площадки реактора в устойчивом консолидированном тектоническом блоке геологических образований.

ВВЕДЕНИЕ

В 1993 - 1995 гг. в Алматинском регионе были проведены работы по оценке фактической сейсмостойкости строительных конструкций здания реактора ВВР-К в пос. Алатау, входящего в состав Института ядерной физики (ИЯФ), в том числе путем изучения сейсмоструктурных условий места его расположения [1]. В 2013 – 2014 гг. вновь проведены исследования, направленные на оценку сейсмических условий и сейсмостойкости здания реактора. Это вызвано изменившимися требованиями новых Строительных норм и правил, а также новыми данными по сейсмичности района и новыми возможностями в изучении сейсмоструктурных и инженерно-геологических условий. Уточнение сейсмоструктурных условий проводилось в пределах общей площади 240×190 км, включающей Илийскую переходную зону с Алматинской впадиной и Кунгей-Заилийскую систему горных поднятий Северного Тянь-Шаня, на стыке которых расположена площадка реактора, чуть к северу от разделяющего их Алматинского разлома [2, 3]. Исследования повышенной детальности проведены для локальной территории с радиусом охвата в 25 км вокруг площадки реактора ИЯФ.

Новые исследования предусматривали выявление и уточнение местоположения тектонических разломов, ответственных за наиболее опасные сейсмические воздействия на реактор, оценку характера возможных изменений сейсмической обстановки в районе расположения площадки реактора, оценку правомерности выводов прежних исследований о низкой сейсмической активности того блока пород, в пределах которого расположен реактор. Особое внимание уделено изучению тектонической обстановки непосредственно на площадке и вблизи неё.

В процессе исследований собраны и проанализированы данные по тектонике, сейсмичности, геофизике из архивных и опубликованных материалов прошлых лет. Предпочтение отдавалось специализированным работам и обобщающим тематическим работам за последние 15 - 25 лет, в число которых

входили карты ОСР, ДСР (общего и детального сейсмического районирования), карты сейсмогенерирующих зон Казахстана. Проведено детальное дешифрирование многоспектральных космических снимков среднего разрешения (28 и 14 м на пиксел изображения), включая и инфракрасные каналы электромагнитного спектра, а также космические снимки высокого разрешения (1 - 5 м на пиксел изображения).

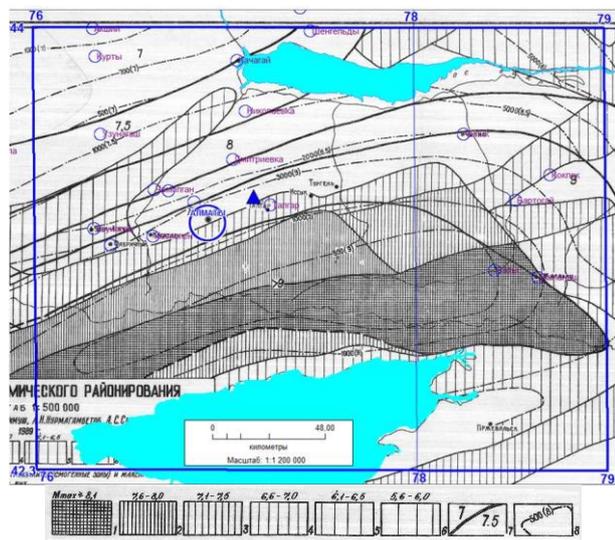
АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ

На карте детального сейсмического районирования Алматинского промрайона масштаба 1:500000, составленной Институтом сейсмологии Казахстана в 1989 г. [2], кроме зон возможного возникновения очагов землетрясений и зон интенсивности ожидаемых землетрясений, указаны изолинии периодов повторения сотрясений (в годах) в зонах их максимальной интенсивности (рисунок 1). Площадка реактора согласно этой карте расположена у границы (в 2,3 км на СВ) зоны возможного возникновения очагов землетрясений с максимальной магнитудой 6,6 - 7 в зоне максимальной интенсивности сотрясений в 9 баллов с периодом повторения около 2000 лет.

В 2012 г. по комплексу геофизических, геолого-тектонических и сейсмологических данных Институтом сейсмологии республики Казахстан составлена Карта сейсмогенерирующих зон Казахстана и прилегающих территорий масштаба 1:2500000 [3]. На фрагменте карты (рисунок 2) видно, что площадка реактора находится к северу примерно в 2 км от Алматинской сейсмогенерирующей зоны (номер 34 на рисунке 2) с магнитудой возможных землетрясений до 7. Далее на юг, в 11 км от площадки реактора, расположена Заилийская сейсмогенерирующая зона (номер 35 на рисунке 2) с магнитудой возможных землетрясений до 8, а еще южнее в 36 км находится самая потенциально опасная на Северном Тянь-Шане Кеминская сейсмогенерирующая зона (номер 36 на рисунке 2) с магнитудой возможных землетрясений более 8. К северо-западу от площадки реактора в 33 км находится Дегересская сейсмо-

генерирующая зона (номер 33 на рисунке 2) с магнитудой возможных землетрясений до 6.

Район площадки реактора расположен в Алматинской впадине, имеющей глубину до 3,5 км (рисунок 3) и заполненной вулканогенно-осадочными отложениями (в верхней части разреза - преимущественно андезит-базальтового состава).



(1 – 6) - зоны возможного возникновения очагов землетрясений (сейсмогенные зоны) с максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений в них; 7 – граница между зонами максимальной интенсивности сотрясений в баллах; 8 – изолинии периодов повторения сотрясений (годы) в зонах максимальной интенсивности; синий треугольник – площадка реактора ИЯФ

Рисунок 1. Фрагмент карты детального сейсмического районирования Алма-Атинского промрайона [2]

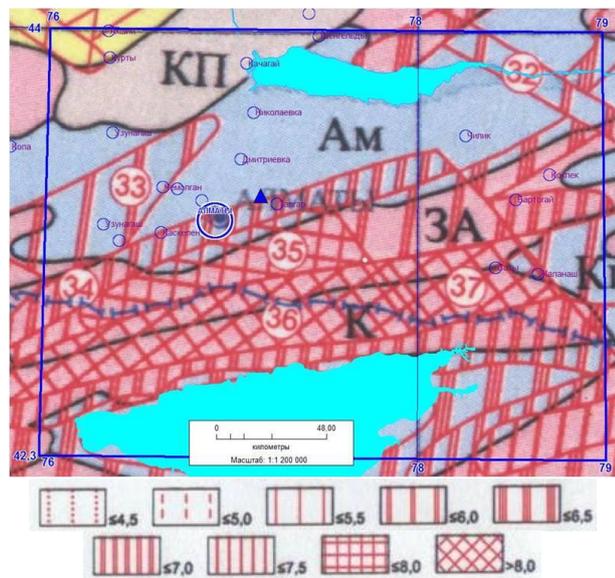
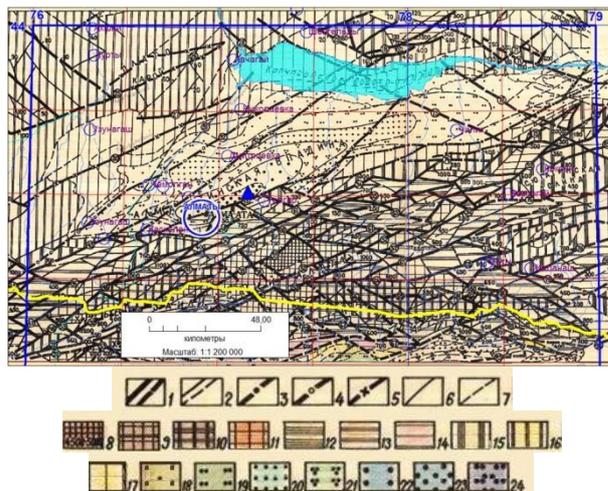


Рисунок 2. Фрагмент карты сейсмогенерирующих зон Казахстана и прилегающих территорий с M_{\max} . [3]

За пределами впадины, в 7 км к югу за Алматинским разломом и в 13 км к юго-востоку, геологические образования консолидированного фундамента

представлены интрузивными массивами гранодиорит-гранитового состава. Это предопределяет распространение гранитоидных интрузий и под вулканогенно-осадочными отложениями Алматинской впадины, в том числе в районе расположения площадки реактора, на глубине более 3,5 км, что подтверждает наличие отрицательной гравитационной аномалии в локальном гравиметрическом поле силы тяжести.



Разломы по геологическим данным (достоверные и предполагаемые): 1 – рельефообразующий; 2 – прочие (цифра - величина относительного превышения одного блока над другим, штрих на разломе - направление в сторону опущенного блока). Глубинные разломы по геофизическим данным: 3 – проникающий в мантию; 4 – проникающий в базальтовый слой; 5 – в гранитном слое. Изогипсы кровли палеозойского фундамента во впадинах: 6 – по бурению и по геологическим данным; 7 – по геофизическим данным; (8 – 24) – высотное положение поверхности эпигерцистического пенопласта (с номером разлома).

Рисунок 3. Фрагмент карты новейшей тектоники [2]

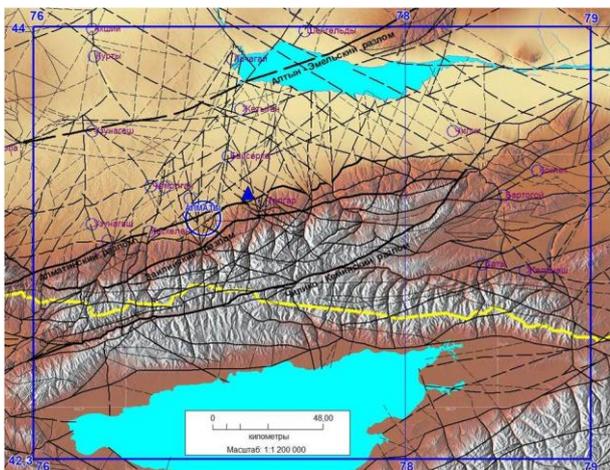
УТОЧНЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

По результатам анализа материалов геолого-геофизической изученности и дешифрирования космических снимков построена современная тектоническая схема района расположения реактора (рисунок 4).

На тектонической схеме показано уточнённое местоположение главных сейсмогенерирующих разломов Алтын-Эмельского, Алматинского, Заилийского и Чилико-Кеминского, а также других основных и второстепенных разломов. Из схемы видно преобладание основных и главных разломов СВ и СЗ направления, менее широко распространены разломы меридионального направления. Главные сейсмогенерирующие разломы субпараллельны общему простираению горных хребтов Северного Тянь-Шаня. На рисунке 5 приведена локальная более детальная тектоническая схема района расположения площадки реактора в пределах кругового контура радиусом 25 км.

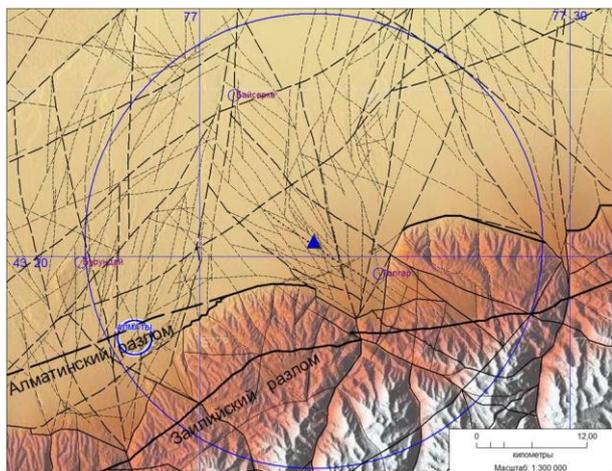
Показано уточненное местоположение самого ближайшего (3,5 км на юг от реактора) сейсмоактивного Алматинского разлома. Выделены и уточнены

все ближайшие основные и второстепенные разломы и тектонические трещины (мелкий пунктир). В районе площадки реактора со стороны Талгарского ущелья Алматинский разлом перекрыт толщей рыхлых отложений конуса выноса вертикальной мощностью до 300 м и более. Однако по космическому снимку высокого разрешения это местоположение дешифрируется как линейная зона с серией субпараллельных прерывистых трещин, имеющая горизонтальную мощность 300 - 500 м. Зона имеет небольшой изгиб в сторону гор, что может дополнительно свидетельствовать о ЮВ падении Алматинского разлома и о том, что площадка реактора расположена в 3,5 км от зоны Алматинского разлома.



Условные обозначения на рисунке 5

Рисунок 4. Тектоническая схема Алматинского региона в контуре 240×190 км



Тектонические нарушения в коренных породах, перекрытые рыхлыми отложениями (пунктиром): 1 – главные; 2 – основные; 3 – второстепенные; 4 – трещина-разлом и трещины; 5 – площадка реактора ИЯФ

Рисунок 5. Детальная тектоническая схема района площадки реактора в радиусе 25 км

В процессе дешифрирования космических снимков установлена также конфигурация консолидированного тектонического блока, в пределах которого находится площадка реактора. Этот блок, вытянутый в СЗ направлении, имеет размер 8×18 км, включает Алматинский разлом в средней части и заходит в горную часть, не доходя до Заилийского разлома, как блок заметно опущенный. В центральной части данного тектонического блока рядом с площадкой реактора (точнее в 350 м на юго-запад) выявлена прямолинейная тектоническая трещина-разлом мощностью 20 - 25 м, вытянутая также в СЗ направлении. Она хорошо прослеживается на космическом снимке высокого разрешения (рисунок 6).



Рисунок 6. Космический снимок высокого разрешения с местоположением тектонической трещины-разлома в районе площадки реактора

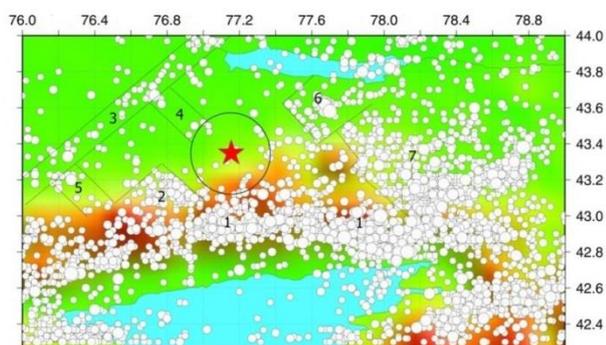
АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

В пределах общей площади исследований собраны и проанализированы исторические сведения, а также данные по современной локальной сейсмичности за последние 22 года – после проведения предыдущих исследований, использованных в [1], а также данные по механизмам очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня за последние 50 лет. Получены и проанализированы сейсмические данные регистрации землетрясений полевыми сейсмическими станциями, установленными ИГИ РК непосредственно на площадке расположения реактора. Составлен каталог землетрясений исследуемого района Северного Тянь-Шаня за период 1992 - 2013 гг., включая и слабые землетрясения с энергетическим классом 2,7 и более. Всего каталог включает данные по примерно 4700 землетрясениям из района, ограниченного координатами: 42,3 – 44° с.ш. и 76 – 79° в.д.

Сейсмические данные позволили уточнить современную пространственную структуру сейсмического поля исследуемого района: выделены активные элементы сейсмических структур, включающие полосы и зоны высокой плотности эпицентров землетрясений разных энергетических классов (рисунок 7).

За последние 22 года на исследуемой территории не происходили землетрясения с магнитудой более 6,5. Наиболее сильные из них, как и в предыдущие

годы, приурочены в основном к хребту Кунгей Алатау, имеющему близширотное простирание. Расстояние от реактора до осевой части Кунгей-Зайилийской зоны высокой плотности эпицентров в южном направлении составляет примерно 40 км. К западу от города Алматы, примерно в 23 км от реактора, также выделяется зона высокой плотности эпицентров, как и при предыдущих исследованиях. За истекший период в этой зоне не произошло ни одного землетрясения с энергетическим классом более 10.



Звездочка – место расположения реактора ИЯФ;
кружки разных размеров – разные энергетические классы событий

Рисунок 7. Структура сейсмического поля в районе Северного Тянь-Шаня с активными полосами и зонами высокой плотности эпицентров землетрясений

На северо-востоке, в 50 км от реактора, произошло наиболее ощутимое на площадке реактора по интенсивности событие последних 22 лет. Это - Капчагайское землетрясение 2011 г. с магнитудой m_b 5,6, которое ощущалось на площадке реактора с интенсивностью 4 - 5 баллов [4]. На общем фоне возросшей сейсмичности в Илийской переходной зоне территория ближней зоны реактора (радиусом 25 км) отличается достаточно низким уровнем сейсмичности. Зарегистрированы лишь слабые землетрясения, энергетический класс которых не превышал 8. Всего произошло 228 событий с $K_{min}=2,9$, представительных землетрясений с классом более 6 среди них – 79. Ближайшие очаги находились на расстоянии 3,2 - 5 км.

ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Для характеристики сейсмического режима территории Северного Тянь-Шаня построен график повторяемости землетрясений в энергетических классах и диаграмма распределения очагов землетрясений по глубине (рисунок 8). Кроме того, рассчитаны параметры сейсмического режима - сейсмическая активность A_{10} (значение уровня графика повторяемости при $K=10$, нормированное к площади 1000 km^2 и времени 1 год) и значение тангенса угла наклона графика повторяемости γ .

На графике повторяемости (рисунок 8-а) видно, что для всего рассматриваемого района представительным энергетическим классом землетрясений является $K_{min}=6 - 6,5$. Землетрясения с меньшей энер-

гией непредставительны, то есть определяются с пропусками. Рассчитанная для этой территории сейсмическая активность $A_{10} = 0,088$, значение $\gamma=-0,46$. Сравнение значения сейсмической активности с долговременным средним для Северного Тянь-Шаня, равным 0,1 [5], показало, что сейсмическая активность в последнее время незначительно ниже среднего. В целом, сейсмический режим последних двух десятилетий по средним характеристикам не отличается от предыдущего периода. Как видно из рисунка 8-б, практически вся сейсмическая активность происходит на глубинах до 30 км, при этом отмечено, что к большей глубине тяготеют землетрясения с большей энергией. Максимальное количество событий приурочено к глубине примерно 10 км.

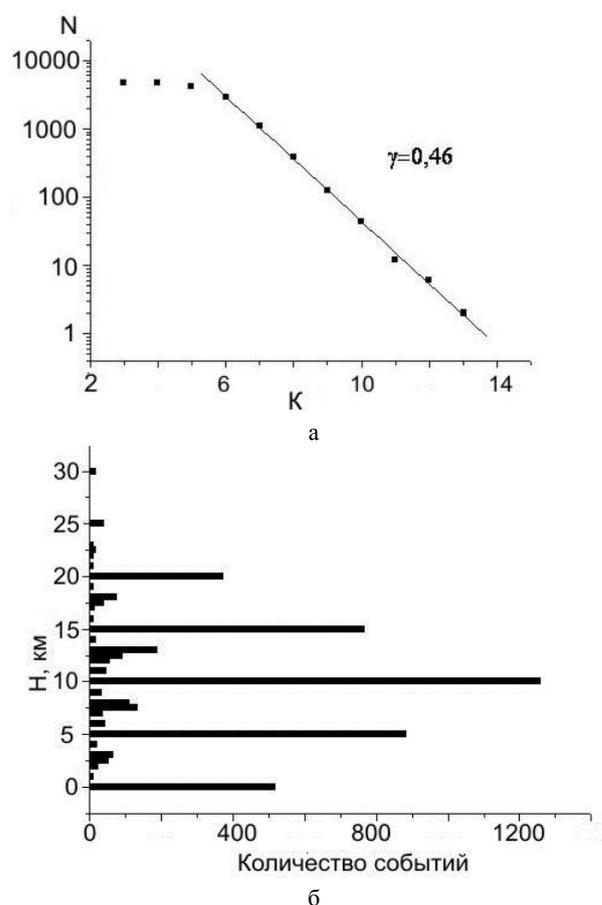


Рисунок 8. Характеристики сейсмического режима и очагов землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня: а – график повторяемости землетрясений в энергетических классах; б – распределение очагов землетрясений по глубине

Для характеристики сейсмического режима в зоне, ближней к реактору, также построен график повторяемости землетрясений в энергетических классах и диаграмма распределения очагов землетрясений по глубине (рисунок 9).

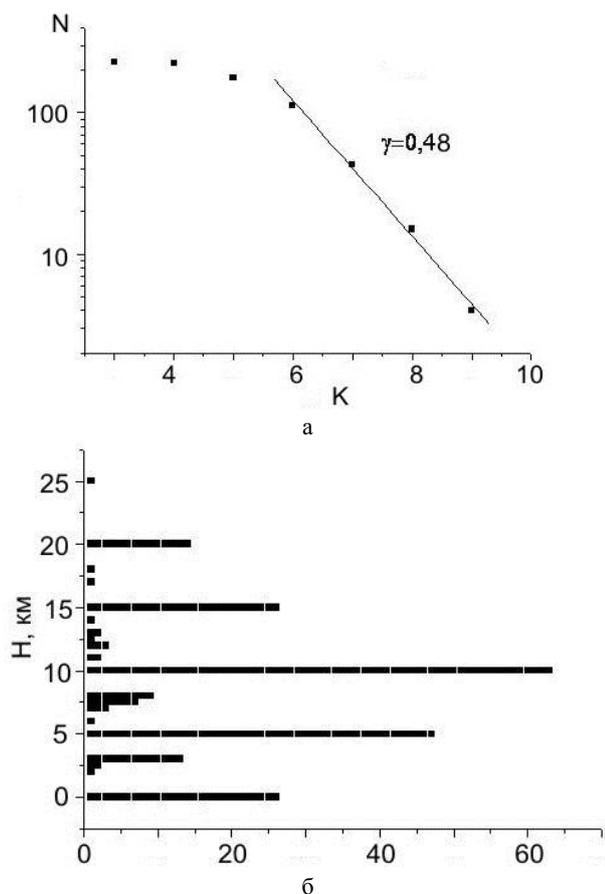


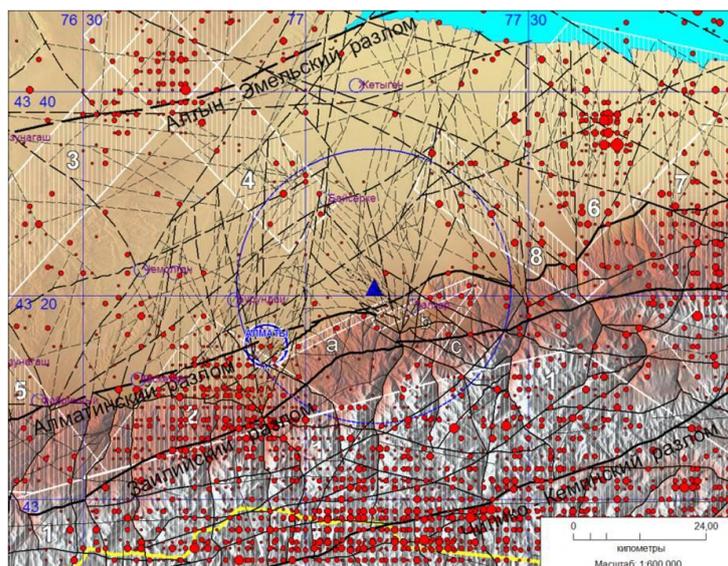
Рисунок 9. Характеристики сейсмического режима и очагов землетрясений на территории ближней зоны реактора: а – график повторяемости землетрясений в энергетических классах; б – распределение очагов землетрясений по глубине

Для этой зоны представительным является энергетический класс $K=6$, сейсмическая активность здесь значительно ниже, чем для территории Северного Тянь-Шаня: $A_{10}=0,025$, $\gamma=-0,48$. Практически вся сейсмическая активность сосредоточена на глубинах до 20 км. Максимум распределения очагов событий приходится на глубину 10 км.

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Совместный анализ сейсмических и тектонических данных на исследуемой площади проводился путём сопоставления выделенных активных элементов пространственной структуры сейсмического поля (полос и зон высокой плотности эпицентров землетрясений с энергетическим классом от 2,7 до 8 – 9 и более) с местоположением тектонических нарушений в пределах Кунгей-Заилийской системы горных хребтов и Илийской переходной зоны.

Полосы повышенной сейсмичности в ближней зоне реактора (а, б, с на рисунке 10) связаны с зонами влияния сейсмогенных Алматинского и Заилийского разломов, а также с пересечениями этих зон с второстепенными разломами СЗ, СВ и субмеридионального направлений. Довольно активная полоса сейсмичности – Караойская (номер 4 на рисунке 10), – расположена к СЗ от реактора, простирается в СЗ направлении в одном створе с реактором, но до реактора не доходит, заканчиваясь в 16 км от него. Здесь, в районе пос. Байсерке, зона упирается в систему тектонических разломов СВ и субмеридионального направлений. Полоса простирается на СЗ более 50 км и пересекает более мощную и активную Кастек-Каратобинскую полосу сейсмичности (номер 3 на рисунке 10) СВ простирая.



Красный кружок – эпицентр землетрясения с энергетическим классом: 1 – (2,6 - 6); 2 – (6 - 8); 3 – (8 - 10); 4 – (10 - 12); 5 – (12 - 14). Синий кружок – населенный пункт; желтая линия – государственная граница Казахстана с Кыргызстаном; большой круг – зона с радиусом 25 км вокруг реактора; контур с белой штриховкой, обозначенный буквой или цифрой - активные зоны сейсмичности

Рисунок 10. К результатам анализа сейсмических и тектонических данных

Следует отметить активную полосу сейсмичности (номер 8 на рисунке 10) в 20 км к СВ от реактора, совпадающую с зоной Тургенского тектонического разлома СЗ направления. В пределах этой полосы зарегистрирован ряд землетрясений с энергетическим классом более 8–9. Эпицентры наиболее ощутимых из них с энергетическим классом 9,4 и 9,6 расположены в 19 и 25 км от реактора.

В ближней зоне реактора самой активной является зона сейсмичности Акжарский треугольник (номер 2 на рисунке 10), расположенная в 23 км от реактора на ЮЗ в сторону г. Алматы и приуроченная к сложному пересечению тектонических разломов различных направлений. Территория зоны преимущественно находится между главными Алматинским и Заилийским тектоническими разломами и чуть выходит на север за Алматинский разлом, на площадь мощного конуса выноса рыхлых отложений из основных горных ущелий рек Малой и Большой Алматинки и реки Аксай. В верховьях реки Аксай находится Акжарский обвал, совпадающий с эпицентром одного из самых разрушительных землетрясений - Верненского 1887 г. Наиболее удалены от площадки реактора следующие зоны сейсмичности (номера в соответствии с рисунком 10):

1. Кунгей-Заилийская зона высокой плотности эпицентров землетрясений. Осевая часть зоны расположена в 40 км на юг от реактора, приурочена к зоне главного Чилико-Кеминского разлома и далее на восток к зоне Северо-Кунгейского разлома.

5. Узунагач-Майтобинская полоса сейсмичности. Расположена в 70 км на запад-юго-запад от реактора за зоной сейсмичности 2 и подобно Караойской полосе сейсмичности 4 простирается в СЗ направлении, ортогонально пересекая Кастек-Каратобинскую полосу сейсмичности СВ простирания.

6. Зона сейсмичности района Капчагайского землетрясения 2011 г. Расположена в 40 км от реактора

на СВ и приурочена к узлу пересечений тектонических разломов и трещин СВ, СЗ и меридионального направлений.

7. Бокайдынская зона сейсмичности. Расположена в 60 км от реактора на северо-восток и восток, приурочена к орогенной части Северного Тянь-Шаня и к восточному сочленению трёх главных разломов: Алматинского, Заилийского и Чилико-Кеминского (с горным поднятием Бокайдынтау в центральной части).

Следует отметить, что самые мощные и протяженные полосы и зоны сейсмичности (такие как Кунгей-Заилийская, Кастек-Каратобинская и Бокайдынская) в исследуемом районе (кроме зоны 2 - Акжарского треугольника) совпадают с зонами локальных аномалий силы тяжести или явно тяготеют к ним в градиентных зонах. Такое же совпадение, только менее явное, можно отметить и для менее протяженных и мощных полос сейсмичности (таких как Узунагач-Майтобинская, СЗ полоса Тургенского разлома).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сбора и совместного анализа сейсмических, тектонических и других геолого-геофизических данных на исследуемой площади установлено, что территория ближней зоны реактора ВВР-К в пос. Алатау в радиусе 25 км находится в относительно спокойной сейсмотектонической обстановке. Это обусловлено наличием массива кристаллических гранитоидов на глубине под толщей вулканогенно-осадочных пород Алматинской впадины. Современными работами подтверждён вывод исследований 20 летней давности о нахождении площадки реактора в благоприятном устойчивом консолидированном тектоническом блоке геологических образований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмотектоническое состояние площадки реактора ВВР-К и мероприятия по повышению сейсмостойкости сооружений и технологического оборудования исследовательского реактора ВВР-К: отчет для Международного Агентства по атомной энергии. – Алматы, 1995.
2. Курскеев, А.К. Детальное сейсмическое районирование Алма-Атинского промрайона / А.К. Курскеев [и др.] // Карта ДСР А-Атинского промрайона. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 1989.
3. Тимуш, А.В. Сейсмогенерирующие зоны Казахстана / А.В. Тимуш, Т.В. Тарадаева, Н.П. Степаненко, А.Б. Садыкова, А. Сыдыков // Карта СГЗ земной коры Казахстана. – Алматы: Хай Технолоджи, 2012. – 82 с.
4. Михайлова, Н.Н. Капчагайское землетрясение / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2013. – Вып. 1. – С. 102 – 111.
5. Михайлова, Н.Н. Энергетические и магнитудные характеристики землетрясений в практике сейсмических наблюдений на Северном Тянь-Шане / Н.Н. Михайлова, Н.А. Калмыкова, Н.П. Неверова // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М: НИА, 1999.

**ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКАСЫ ИНСТИТУТЫНЫҢ ВВР-К РЕАКТОРЫ ОРНАЛАСҚАН АУДАНЫНДА
СЕЙСМОТЕКТОНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ**

Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Аристова И.Л.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бұрын жүргізілген жұмыстардан кейін 20 жыл өткенде Алматы қаласы жанындағы ВВР-К реакторы орналасқан ауданның сейсмотектоникалық жағдайын қайталап зерттеудің нәтижелері келтірілген. Зерттеулері жұмыстардың жаңа түрлерін және жаңа деректерді өңдеуін қосқан: ғарыштық фотосуреттерін толық жете бажайлау, тектоникалық жағдайын нақтылау, жергілікті сейсмикалықлығын талдау, сейсмикалық режимінің параметрлерін зерделеу. 25 км. радиусында реактордың жақындағы зонасы бойынша материалдары одан толық жете қарастырылған. Реактор алаңы геологиялық жаралымдардың орнықты нығайлы тектоникалық блогында болу туралы бұрынғы зерттеулердің тұжырымы расталған.

**SEISMOTECTONIC ENVIRONMENT IN THE REGION OF VVR-K REACTOR
OF THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

N.N. Mikhailova, A.E. Velikanov, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan

The results of repeated monitoring studies of seismotectonic environment on the territory of VVR-K reactor location in the vicinity of Almaty after 20 years are presented. The studies included new works and the analysis of new data: detailed interpretation of satellite imagery, revision of tectonic environment, analysis of local seismicity, study of seismic mode parameters. The more detailed studies were conducted in near zone of the reactor within the radius of 25 km. The conclusion of the previous studies about reactor location in solid consolidated tectonic block of geological formations was confirmed.