

*A. V. БЕЛЯШОВ*

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СИП СЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*(Представлена академиком НАН РК Э. Г. Боос)*

В последние годы территория бывшего Семипалатинского испытательного полигона активно вовлечена в хозяйственную деятельность – в границах полигона разрабатываются различные карьеры и месторождения полезных ископаемых, источники питьевой воды используются населением и т.д. Тем не менее, до сих пор не собрано всеобъемлющей информации о геоэкологической обстановке на полигоне. Основная экологическая опасность для населения может проявляться в двух направлениях – радиационном и сейсмологическом.

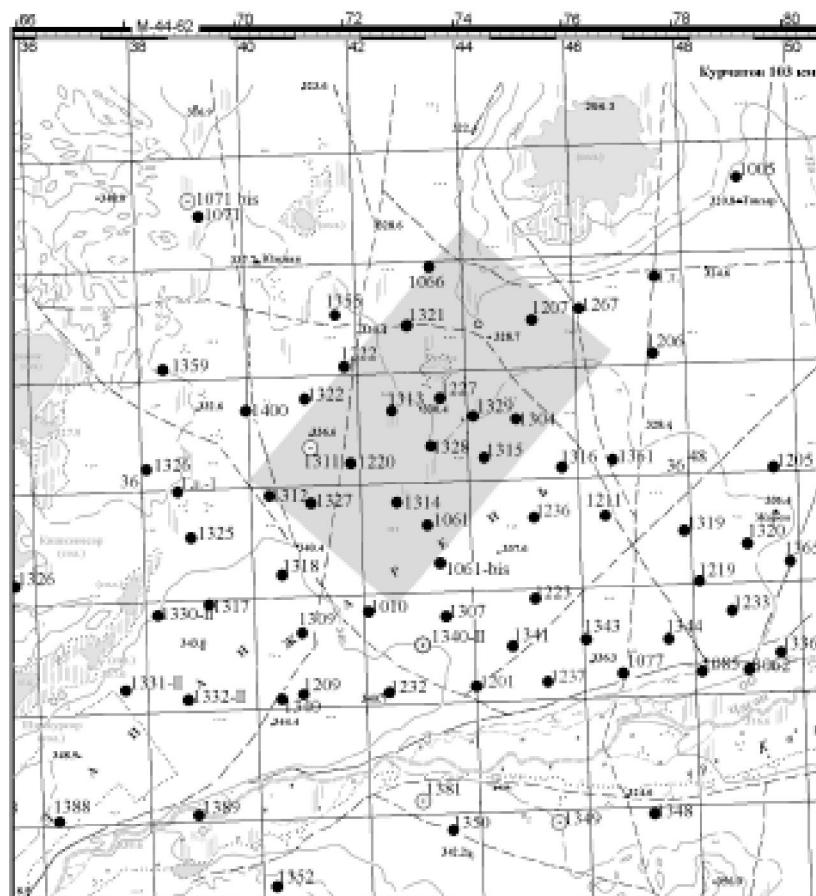
В статье описаны результаты сейсмических наблюдений методом пространственного зондирования, выполненных на одной из боевых площадок Семипалатинского испытательного полигона с целью изучения последствий физического воздействия подземных ядерных взрывов на вмещающие горные породы.

Длительное проведение большого количества подземных ядерных взрывов на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) существенно повлияло на экологическую обстановку данной территории. С точки зрения потенциальной угрозы для окружающей среды последствия от выполненных ядерных испытаний проявляются в двух основных направлениях – радиационном загрязнении недр и поверхности полигона [1–6] и сейсмической опасности [7–10]. В связи с активным использованием в последние годы территории полигона в хозяйственной деятельности возникла необходимость разработки инструментов изучения современного геоэкологического состояния недр СИП.

Одним из надежных инструментов непрямого изучения последствий механического воздействия

подземных ядерных взрывов на вмещающие горные породы является сейсмический метод пространственного зондирования.

Для выполнения сейсмических наблюдений был выбран участок СИП с достаточно большой плотностью проведения подземных ядерных испытаний (рис. 1). Такой выбор участка был обусловлен необходимостью изучения длительного (17-летнего) многократного воздействия ПЯВ на обширный блок среды с наличием взаимных влияний пост взрывных физических аномалий друг на друга. Участок исследований площадью 6000x3500 м<sup>2</sup> был размещен в районе скважин 1315, 1061, 1220 и т.д. (площадка Бала-пан). В пределах площади наблюдений в общей сложности разместилось 18 боевых скважин. В геологическом плане район исследований



**Рис. 1.** Фрагмент топографической карты участка Балапан (СИП) с контуром площади наблюдений

разнообразен и представлен следующими типами пород – песчаниками, туфами, порфиритами, алевролитами, гранитами и т.д. Испытания были выполнены в интервале глубин от 466 до 628 м, с максимальной величиной заряда – 212 кТ (при минимальной – 15 кТ).

Метод пространственного зондирования (МПЗ) относится к числу «активных» сейсмических методов, т.е. в ходе наблюдений используются искусственные источники возбуждения упругих колебаний – взрывы, ударные установки, вибраторы и т.д. Данный метод основан на использовании так называемых рефрагированных волн. Они обязаны своим возникновением неоднородности слоев земной коры, в которых обычно наблюдается плавное возрастание скорости с глубиной. Вследствие неоднородности такого слоя лучи проходящей волны в нем искривляются и возвращаются к верхней границе слоя. Проходя через эту границу и распространяясь далее в покрывающей толще, рефрагиро-

ванная волна возвращается к поверхности земли и достигает пункта приема [11]. В методе пространственного зондирования каждая точка среды изучается с разных направлений, что позволяет более достоверно исследовать распределение физических параметров данного блока земной коры [12].

Исходя из априорной информации о размерах зон, подверженных воздействию ПЯВ (около 300 м в горизонтальном сечении), была определена детальность системы наблюдений [13]. Наблюдения проводились по всей площади с шагом между пунктами приема 125 м вдоль профилей и расстоянием между профилями 250 м (рис. 2).

Для возбуждения упругих волн использовались сейсмические взрывы небольшой мощности (вес заряда до 40 кг). Взрывы выполнялись по равномерной сети с шагом 500 м между пунктами возбуждения. Каждый взрыв был зарегистрирован всеми точками приема системы наблюдений, что обусловлено методикой проведения

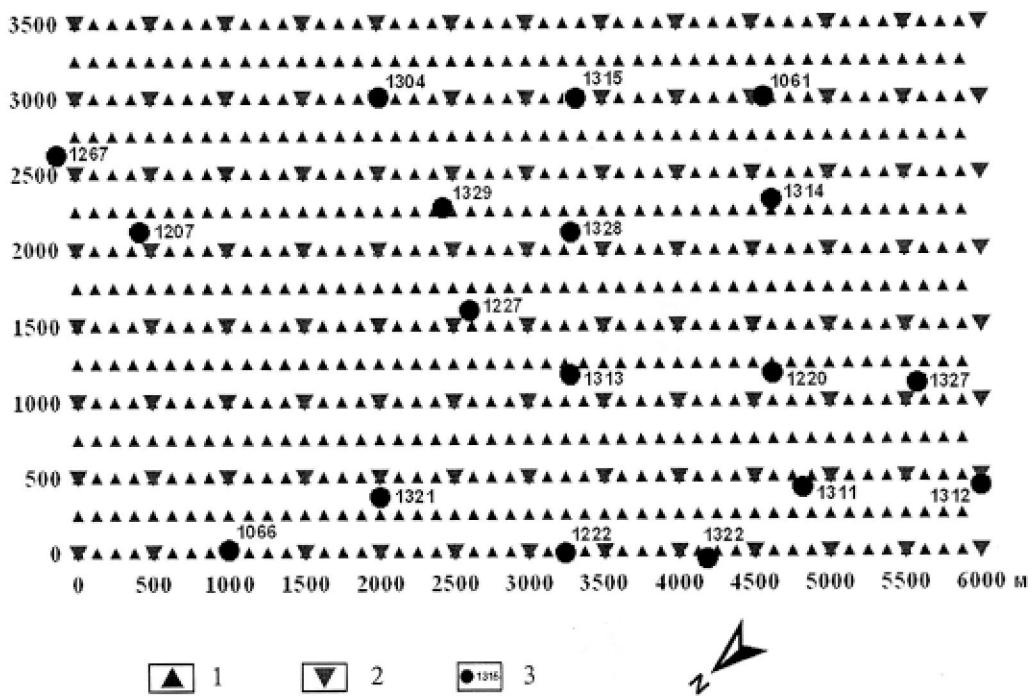


Рис. 2. Система наблюдений МПЗ:

1 – пункты наблюдений; 2 – пункты возбуждения упругих колебаний; 3 – боевая скважина и ее номер

работ. В результате количество пунктов взрыва составило 104 точки, количество пунктов наблюдения – 720 точек.

В ходе регистрации использовался аппаратный комплекс «Карс». Сейсмические записи получены на аналоговых двенадцатиканальных станциях АСС – 3/12 с использованием сейсмоприемников СК-1П. Данные приборы обладают возможностью трехкомпонентной регистрации сейсмических сигналов (две горизонтальных и одна вертикальная компоненты). Соответственно, каждая станция регистрировала записи четырех сейсмоприемников. Частотный диапазон станции записи – от 0,5 до 64 Гц, динамический диапазон – от 0 до 120 дБ. Для временной привязки в каждой станции записи установлены кварцевые часы, максимальное отклонение которых составляет 0,01 сек. в сутки. Для перевода сейсмических записей из аналоговой формы в цифровую была использована станция воспроизведения ВСС – 6/12, которая имеет устройство сопряжения с персональным компьютером. Тактовая частота АЦП станции до 4 кГц. Максимально возможная частота оцифровки сигнала – до 320 Гц.

Обработка сейсмических данных МПЗ состояла из следующих этапов – предварительной

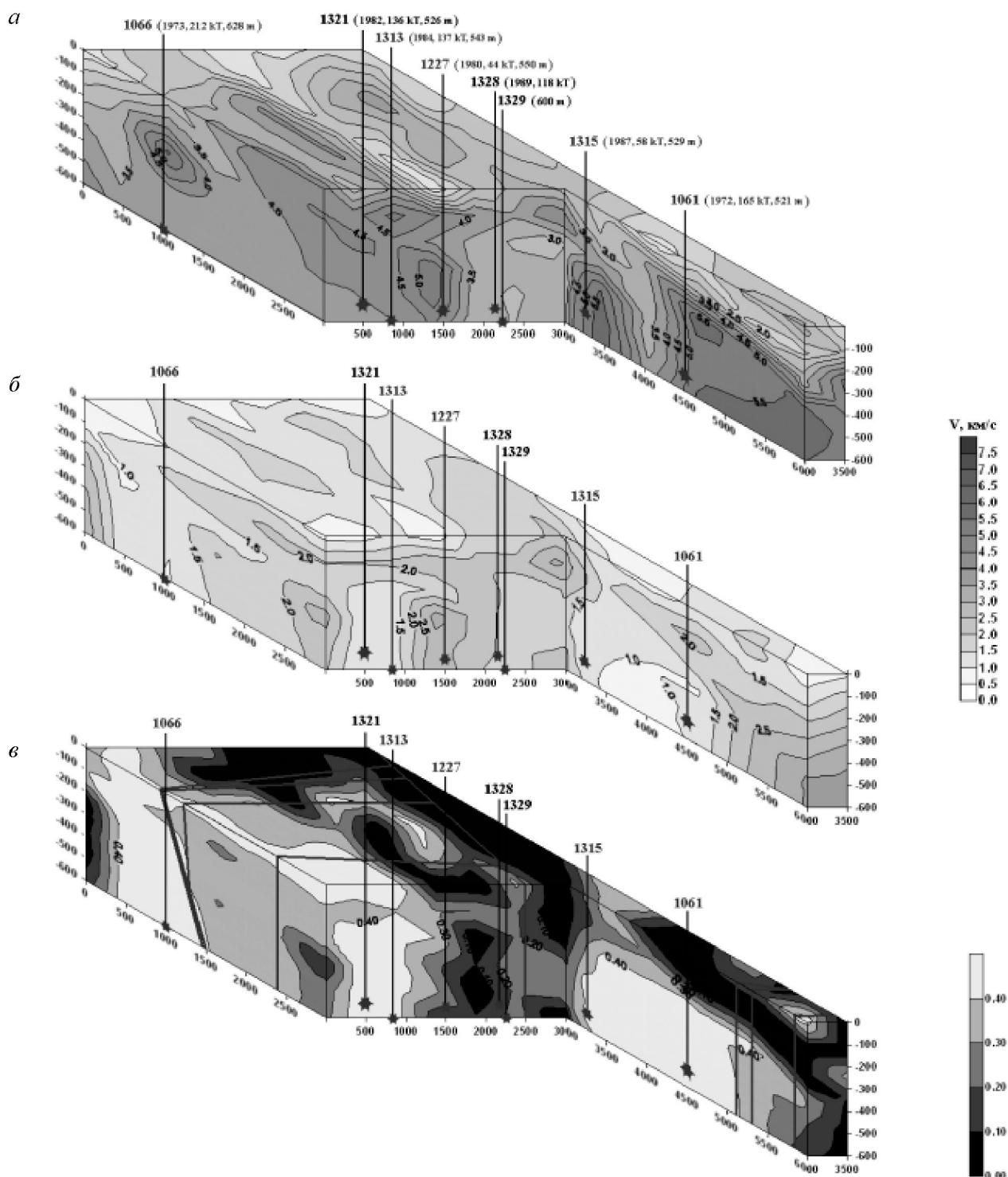
обработки, анализа волнового поля, построения объемных моделей и анализа полученных результатов.

#### Предварительная обработка:

- оцифровка данных, т.е. перевод сейсмического материала из аналоговой формы в цифровую;
- построение сводных сейсмограмм, для чего необходимо объединить разрозненные файлы с сейсмическими трассами в один графический файл;
- построение графиков зависимости времени прихода сейсмического луча в каждую точку от расстояния до этой точки (системы годографов).

**Анализ волнового поля** осуществлялся с целью общей оценки скоростных параметров изучаемой среды и получения одномерной скоростной модели, необходимой для дальнейшей обработки, с использованием профильных и пространственных годографов, построенных по первым вступлениям продольных волн и выделенным фазам поперечных волн [14].

Для построения объемных скоростных моделей по продольным и поперечным волнам был использован сейсмический пакет FIRSTOMO (версия 2.2e). В результате были получены трехмерные скоростные модели блока земной коры, подверженного воздействию ПЯВ, по продольным и поперечным волнам (рис. 3, а, б).



**Рис. 3.** Объемные модели распределения скоростных параметров по продольным (*а*) и поперечным (*б*) волнам и коэффициента Пуассона (*в*)

Для получения информации о физических параметрах горных пород исследуемого участка по значениям продольных и поперечных волн был рассчитан коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) по следующей формуле:

$$\nu = (V_p^2 - 2 \times V_s^2) / (2 \times (V_p^2 - V_s^2)),$$

где  $V_p$  и  $V_s$  – скорости продольных и поперечных волн соответственно.

Результаты расчетов в виде объемной модели распределения коэффициента Пуассона приведены на рис. 3, в.

**Анализ полученных результатов** по данным МПЗ состоял в оценке степени механического воздействия подземных ядерных взрывов на вмещающие горные породы и на геологическую ситуацию региона исследований в целом. На рис. 3 приведены объемные модели распределения скоростных (по продольным и поперечным волнам) и деформационных (по коэффициенту Пуассона) параметров изучаемого блока земной коры участка Балапан. Модели приведены в виде срезов с максимальным количеством боевых скважин, попадающих на плоскость среза. На моделях схематически обозначены места проведения ядерных испытаний – боевые скважины с параметрами взрывов (датой, мощностью и глубиной заложения заряда).

Как было упомянуто выше, на достаточно небольшой площади было выполнено значительное количество ядерных взрывов. В связи с этим предполагается ослабление структурных элементов горных пород представленного массива. Сейсмические исследования до глубины проведения испытаний ранее не выполнялись, поэтому мы имеем возможность оценить последствия влияния ядерных взрывов на блок земной коры без сравнения с исходным его строением. Представленный рис. 3 иллюстрирует, что подземные ядерные взрывы существенным образом влияют на скоростные параметры окружающих горных пород [15–18].

Современное строение изучаемого участка носит сложный характер, с блоковым залеганием пород, большим количеством субвертикальных границ нарушения сплошности среды, горизонтальных разрывных нарушений и т.д. Обнаруживается эффект взаимного влияния проведенных взрывов друг на друга, выраженный в «затирании» последствий более ранних взрывов физическими аномалиями от хронологически

более поздних испытаний (район скважин 1321, 1357 и 1227). Наблюдаются участки проявления обратной зависимости распределения пост взрывных физических аномалий в изучаемой среде. В частности, подземный взрыв в скважине 1315 был выполнен в 1987 г., т.е. позже испытания в скважине 1061 (выполненного в 1972 г.). Но из-за менее значительной мощности заряда (58 кТ относительно 165 кТ в скважине 1061) основная часть энергии от взрыва в скважине 1315 была направлена в сторону структур, ранее ослабленных взрывом в скважине 1061, увеличив тем самым общую зону активных разрушений. В общем случае, на скоростных моделях проявление ПЯВ выражается в образовании низкоскоростных зон в гипоцентрах взрывов характерной циклической формы с выдавливанием к краям более высокоскоростных зон. На модели распределения физического параметра – коэффициента Пуассона (рис. 3, в) – влияние ПЯВ на вмещающую среду проявляется в виде образования в очагах взрывов зон с повышенными деформационными значениями (зон дезинтеграции горных пород), окруженных более плотными зонами повышенной напряженностью горных пород. Максимальный размер зоны активных разрушений, приуроченной к ПЯВ, составляет ~ 2000 м в горизонтальном сечении (район скважин 1061 и 1315).

Для оценки зависимости современного строения изучаемого блока земной коры от тектонических условий на представленную модель распределения коэффициента Пуассона были вынесены основные разломы (рис. 3, в). Наблюдается залегание пост взрывных структур, лежит вкрест простирация основных разломов, что свидетельствует об отсутствии принципиального влияния тектоники на характер выявленных последствий от проведенных ПЯВ. Также привлекает внимание интересная ситуация, представленная на примере скважины 1066. Взрыв в этой скважине был выполнен в 1973 г. и был максимальным по мощности – 212 кТ. Во время проведения испытания взрывные нарушения, предположительно, начали распространяться из очага взрыва радиально во все стороны. Но на юго-западе от гипоцентра взрыва проходит крупный разлом, который заблокировал распространение пост взрывной зоны трещиноватости в данном направлении, и основная часть взрывной энергии, экранированная от разлома, была направлена в обратном направлении – на северо-восток от гипоцентра взрыва.

**Заключение.** Результаты, изложенные в настоящей работе, описывают особенные характеристики физико-механических свойств блока геологической среды участка Балапан (СИП), подвергшегося длительному разрушающему воздействию подземных ядерных взрывов.

Сейсмический метод пространственного зондирования позволил охарактеризовать участок исследований с помощью таких параметров, как скорости продольных и поперечных волн и коэффициент Пуассона. По результатам настоящих наблюдений установлено, что пост взрывное распределение физических характеристик определяется деструктивным действием подземных ядерных взрывов на вмещающую среду. Имея информацию о степени разрушенности горных пород, о размерах зон дезинтеграции, мы можем прогнозировать пост взрывные процессы, такие как миграция радионуклидов в водной среде и, как следствие, попадание их в грунтовые и поверхностные воды. Информация о распределении зон различного напряжения горных пород на исследуемом участке может помочь в прогнозировании как естественной, так и искусственной (наведенной) сейсмичности региона. Эти знания необходимы с позиции безопасного промышленного использования территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев О.И., Ахметов М.А., Птицкая Л.Д. Радионуклидное загрязнение территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона // Вестник НЯЦ РК. 2001. № 3.

2. Птицкая Л.Д. Современное состояние радиационной обстановки на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского полигона // Вестник НЯЦ РК. 2002. № 3.

3. Тугельбаев С.С. Степень загрязненности почв различных ландшафтов семипалатинского региона б-активными радионуклидами и их роль в гигиенической оценке ландшафтов региона // Вестник НЯЦ РК. 2004. № 4.

4. Лукашенко С.Н., Агеева Т.Н., Мелентьев М.И., Шайторов В.Н. и др. Выявление возможных путей миграции радионуклидов в блоках пород, вмещающих полости подземных ядерных взрывов по геофизическим и геохимическим данным (на примере площадки Балапан и участка Лира) // III Междунар. конференция «Ядерная и радиационная физика». Алматы, 2001.

5. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Соломатин В.М., Баранов С.А. Оценка доз облучения различных категорий населения на территории Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. 2007. № 4.

6. Ляхова А.Н., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б., Айдарханов А.О., Кубенов А.М. Исследование содержания

трития в объектах окружающей среды на территории испытательной площадки Дегелен // Вестник НЯЦ РК. 2007. № 4.

7. Астафуров С.В., Шилько Е.В., Ружич В.В., Псахъе С.Г. Исследование влияния локального напряженного состояния на отклик границ раздела блоков в геологических средах при динамических воздействиях // Геология и геофизика. АИ «Гео». Новосибирск, 2008. Т. 49. С. 67-77.

8. Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Изучение геологоструктурной обстановки вокруг испытательных скважин Семипалатинского полигона методом автоматизированного дешифрирования космических снимков // Вестник НЯЦ РК. 2004. № 2.

9. Горбунова Э.М. Изучение последствий техногенной дестабилизации недр Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. 204. № 2.

10. Мурзадилов Т.Д., Логвинов О.В., Гринштейн Ю.А., Жалдыбаев А.К. Напряженное состояние геологической среды как следствие наличия в ней полостей ядерных взрывов // Вестник НЯЦ РК. 2005. № 3.

11. Гуревич И.И. Сейсморазведка. М.: Недра, 1975.

12. Пузырев Н.Н. и др. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S- волнах. Новосибирск: ВО «Наука», 1993.

13. Певзнер Л.А., Покидов В.Л., Циммер В.А. Сейсмическое просвечивание сложных сред. Алма-Ата: Наука, 1984.

14. Шацлов В.И. Методика исследований при оценке сейсмической опасности территории. Алма-Ата: Наука, 1989.

15. Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах // Вестник НЯЦ РК. 20007 № 2.

16. Горбунова Э.М. Особенности деформирования массива горных пород при воздействии взрывом (на примере участка Заречье Семипалатинского испытательного полигона) // Вестник НЯЦ РК. 2003. № 2.

17. Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Изучение геологоструктурной обстановки вокруг испытательных скважин Семипалатинского полигона методом автоматизированного дешифрирования космических снимков // Вестник НЯЦ РК. 2004. № 2.

18. Горбунова Э.М. Изучение последствий техногенной дестабилизации недр Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. 2004. № 2.

#### Резюме

Сонғы жылдарда бұрынғы Семей сынау полигонының аумағы шарашылық қызметке белсene тартылуда – полигон шегінде әртүрлі карьерлер мен пайдалы қазбалар кенорындары өндірілуде, ауыз су көздерін халық пайдалануда және т.т. Сонда да осы кезге дейін полигондағы геоэкологиялық жағдай туралы бәрін қамтитын акпарат жинақталмаған. Халық үшін басты экологиялық қауіп екі бағытта байқалуы мүмкін: радиациялық және сейсмологиялық. Мақалада жерасты ядролық жарылыстардың сыйыстыруышы таужыныстарына физикалық әсерінің зардаптарын зерделеу мақсатында Семей сынау полигоны аландарының біреуінде кеңістік зондтау әдісімен сейсмикалық бақылауының нәтижелері сипатталған.

## **Summary**

The territory of the former Semipalatinsk Test Site (STS) has been widely used in economic purposes recently: mine pits and deposits of minerals are exploited; potable water sources are used by population etc. Nevertheless comprehensive information of the test site geoecology situation has not been

gathered. The main ecology hazard for the population might be revealed in two directions: radiation and seismological. The paper describes seismic monitoring results obtained by spatial sounding method which has been carried out at one of the used borehole of STS in order to investigate consequences of physical impact of underground nuclear explosions on host rocks.

*Институт геофизических  
исследований НЯЦ РК*

*Поступила 05.11.09г.*