

УДК 550.344
PACS 91.30.-f

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ S-ВОЛН В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (ПО ЗАПИСЯМ ЯДЕРНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ)

© 2022 г. Ю.Ф. Копничев¹*, И.Н. Соколова²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Институт геофизических исследований Национального ядерного центра
Министерства энергетики Республики Казахстан, г. Курчатов, Казахстан

* e-mail: yufk777@mail.ru

Поступила в редакцию ????.2022 г.; после доработки ????.2022 г.

Принята к публикации ????.2022 г.

Аннотация. Анализируются пространственно-временные вариации структуры поля поглощения S-волн в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП). По записям подземных ядерных взрывов, а также калибровочных и карьерных взрывов изучены вариации отношения амплитуд волн Lg и Pg (параметр Lg/Pg) соответственно с начала их проведения до конца 1980-х годов и до 2021 г. Исследованы также вариации огибающих S-коды по записям химических взрывов, полученных близкими станциями на территории СИП. Предполагается, что пространственно-временные вариации структуры поля поглощения связаны с миграцией глубинных флюидов в земной коре и верхах мантии, обусловленной длительным интенсивным воздействием взрывов на геологическую среду.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, поперечные волны, поглощение, глубинные флюиды.

DOI: <https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-???>

Цитирование: Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения короткопериодных S-волн в районе Семипалатинского испытательного полигона (по записям ядерных и химических взрывов) // Геофизические процессы и биосфера. 2022. Т. 21, № 4. С. ???-???. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-???>

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются пространственно-временные вариации структуры поля поглощения в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Известно, что за 40 лет (с 1949 по 1989 г.) в районе СИП было проведено 466 ядерных испытаний, в том числе 30 наземных, 88 воздушных и 348 подземных ядерных взрывов (ПЯВ) [Испытания..., 1996]. ПЯВ проводились начиная с 1961 г., их максимальная мощность составляла около 150 кт в тротиловом эквиваленте. В этой связи территория СИП является уникальной природной лабораторией, в которой можно исследовать эффекты, связанные с интенсивным и достаточно продолжительным техногенным воздействием на геологическую среду в тектонически «спокойном» (в отличие от территорий двух других крупных ядерных полигонов – Невадского и Лобнорского) районе. Отметим, что временные вариации поля поглощения могут рассматриваться и после окончания крупнейшей серии ПЯВ, поскольку в районе СИП начиная с конца 1990-х годов проводилось значительное количество относительно сильных калибровочных, а также промышленных химических взрывов.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Семипалатинский испытательный полигон находится на северо-восточной окраине обширной Казахской платформы в области сочленения двух крупных региональных структур: каледонской – Чингиз-Тарбагатайской, и герцинской – Иртыш-Зайсанской. Границей между ними служит Калба-Чингизский глубинный разлом. Район характеризуется широким развитием интрузивного магматизма. На большей части территории СИП палеозойский фундамент перекрыт сравнительно тонким слоем палеогеновых и более молодых осадочных пород, максимальная мощность которых достигает нескольких сотен метров.

Подавляющее большинство ПЯВ в районе СИП было произведено на двух площадках – Дегелен (более 200) и Балапан (более 100), 25 взрывов было осуществлено на площадке Сары-Узень [Испытания..., 1996] (рис. 1). На площадке Дегелен заряды помещались в штольнях, пройденных в горном массиве, на площадках Дегелен и Сары-Узень – в скважинах, ниже тонкого слоя осадочных пород. Отметим, что начиная с 1976 г. почти все достаточно сильные взрывы (более 20 кт) проводились на площадке Балапан.

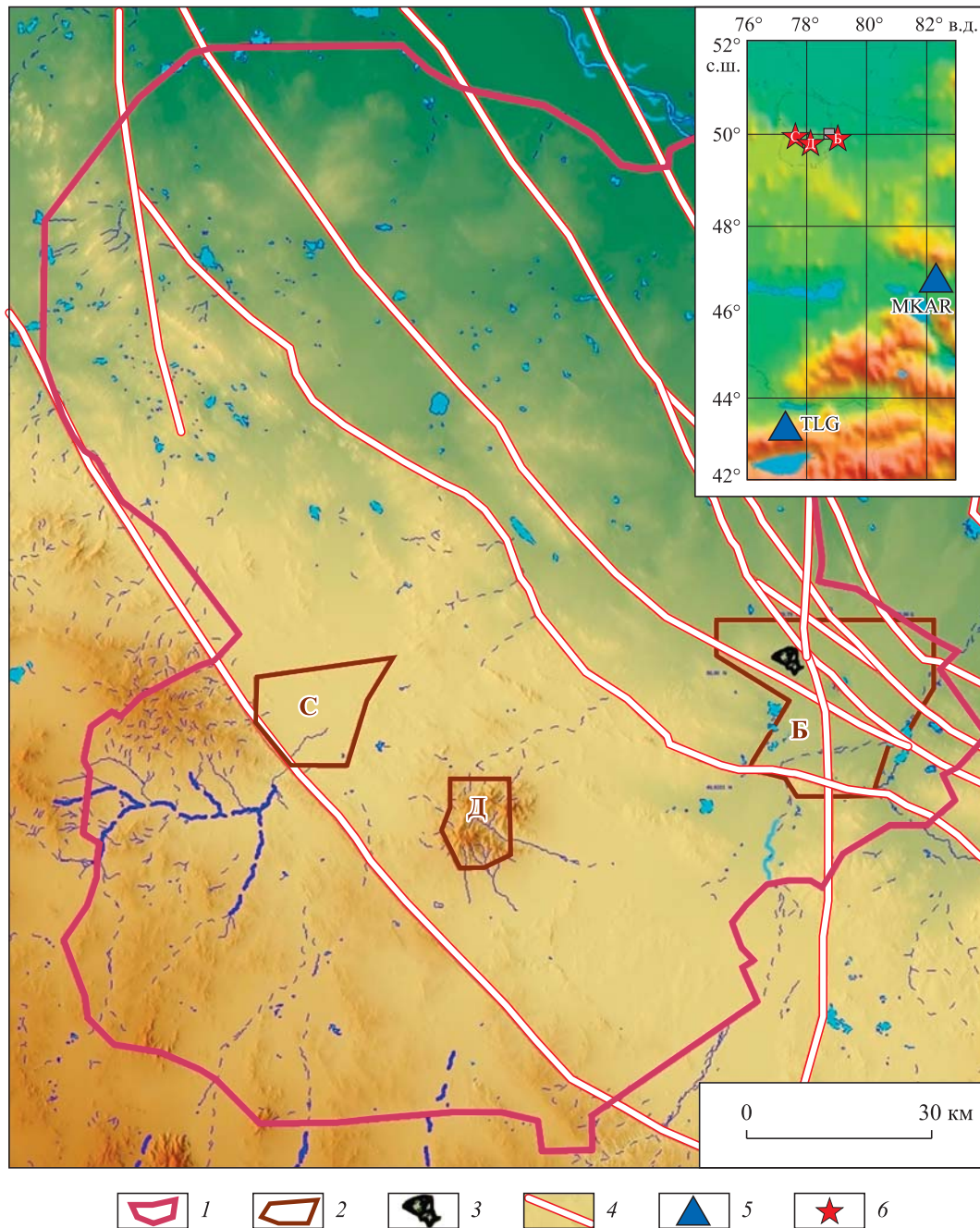


Рис. 1. Карта района исследований

1 – территория СИП; 2 – площадки для проведения взрывов: С – Сары-Узень, Д – Дегелен, Б – Балапан; 3 – карьер Каражыра; 4 – разломные зоны. На врезке: 5 – удаленные станции; 6 – главные площадки для проведения испытаний на территории СИП

Существенно, что в районе площадки Балапан проходят два крупных разлома – Калба-Чингизский и Чинрауский [Тектоника..., 1982], по геофизическим данным достигающие границы Мохо (см. рис. 1). На территории площадок Дегелен и Сары-Узень выделены только достаточно мелкие разрывные нарушения; еще один крупный разлом – Главный Чингизский – проходит несколько южнее этих площадок (см. рис. 1). Средняя мощность земной коры в районе полигона составляет 44 км [Беляшова и др., 2000].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Обработано более 260 записей ПЯВ, полученных в 1964–1989 гг. ст. TLG, расположенной на Северном Тянь-Шане (см. рис. 1). Станция оборудована сейсмометром СКМ [Основные..., 1974] и аналоговой частотно-избирательной (ЧИСС) аппаратурой [Копничев, 1985]. Сейсмограммы, зарегистрированные сейсмометром СКМ, предварительно были оцифрованы. Обработывались записи вертикального канала с центральной частотой 1.25 Гц и шириной 2/3 октавы.

Рассматривались также записи трех калибровочных химических взрывов мощностью 25 т, проводившихся в 1997 г. в районе площадки Балапан [Беляшова и др., 2000]. Сейсмограммы получены трехкомпонентными цифровыми узкополосными станциями, установленными в ближней зоне на эпицентральных расстояниях от 2 до 18 км. Станции были оборудованы сейсмометрами L4С и дигитайзерами Reftek72А [Беляшова и др., 2000].

Кроме того, анализировались записи химических взрывов, проводившихся на площадке Балапан (карьер Каражыра [Великанов и др., 2013]) с начала 2000-х годов. Записи получены полевыми станциями, расположенными в ближней зоне от карьера, а также ст. МКАР [Mikhaylova, Sokolova, 2019], установленной на границе Западного Алтая (Восточный Казахстан) (см. рис. 1). В общей сложности обработано около 140 сейсмограмм.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

По записям региональных станций (TLG и МКАР) анализировались отношения максимальных амплитуд в группах Lg и Pg (параметр $Lg(A_{Lg}/A_{Pg})$, который мы для краткости будем обозначать как Lg/Pg). Группа Lg представляет совокупность запредельно отраженных от границ коры поперечных волн, поэтому рассматриваемый параметр характеризует интегральное поглощение S-волн на всей трассе от очага до станции.

Кроме того, рассматривались характеристики короткопериодной S-коды на записях калибровочных и карьерных химических взрывов, полученных близкими

станциями. На частотах около 1 Гц S-кода сформирована поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхах мантии [Копничев, 1985; Aptikaeva, Koptichev, 1993], поэтому по огибающим записей можно детально картировать неоднородности поля поглощения на глубинах до ~200 км [Копничев, Соколова, 2019]. На огибающих коды выделялись участки различного наклона; эффективная добротность Q_s , соответствующая каждому участку, определялась по формуле

$$A(t) \sim \exp(-\pi t/Q_s T)/t, \quad (1)$$

где t – время от начала излучения в очаге; T – период колебаний.

При обработке цифровых сейсмограмм применялась узкополосная частотная фильтрация, использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц, аналогичный ЧИСС-фильтру [Копничев, 1985].

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для изучения временных вариаций поглощения в районе СИП проанализированы записи 261 подземного ядерного взрыва, полученные ст. TLG. На рис. 2 показаны примеры сейсмограмм ПЯВ, произведенных на разных площадках СИП. Видно, что уровень группы Lg относительно Pg выше всего для ПЯВ на площадке Сары-Узень и ниже всего – на площадке Балапан.

Из представленных на рис. 3 данных следует, что для площадки Балапан дисперсия данных для параметра Lg/Pg обычно больше, чем для площадок Дегелен

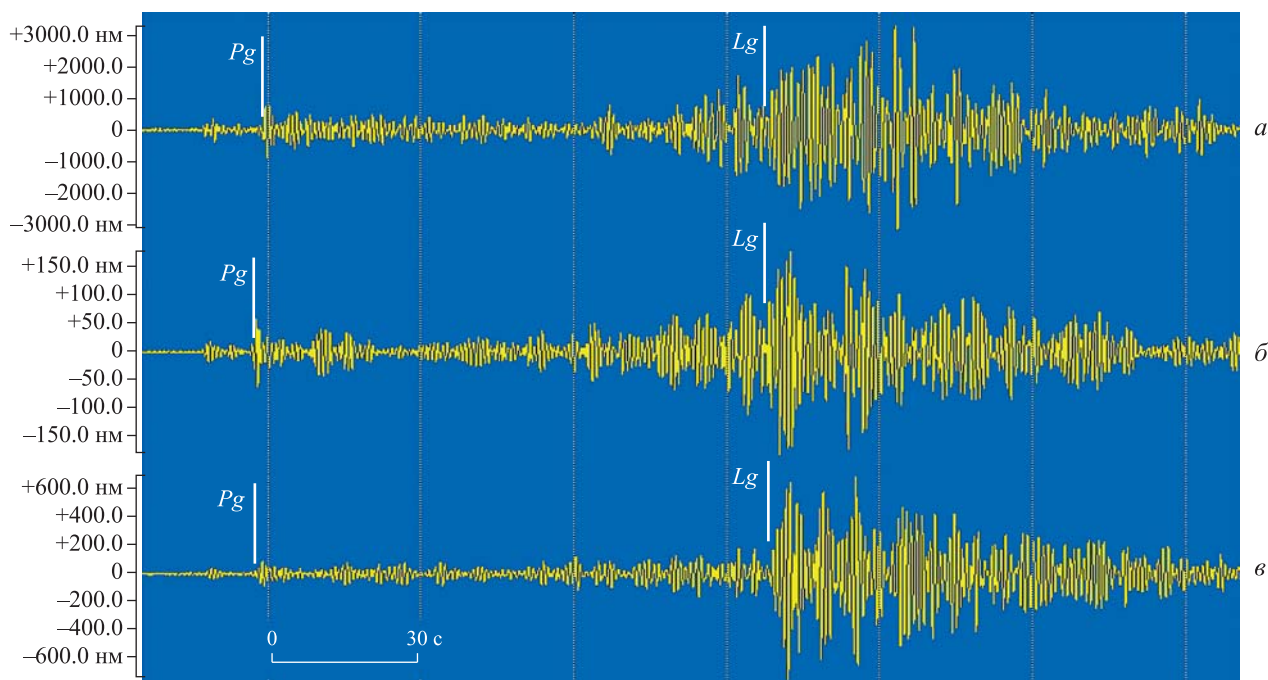


Рис. 2. Примеры сейсмограмм подземных ядерных взрывов, проводившихся на разных площадках СИП

a – Балапан (14.09.1988 г., $t_0 = 03-59-57.4$, $\Delta = 743$ км); b – Дегелен (18.10.1988 г., $t_0 = 03-40-06.6$, $\Delta = 739$ км); c – Сары-Узень (16.02.1979 г., $t_0 = 04-04-00.5$, $\Delta = 750$ км). Ст. TLG, вертикальная компонента, фильтр 1.25 Гц. Показаны вступления волн Pg и Lg (по годографу)

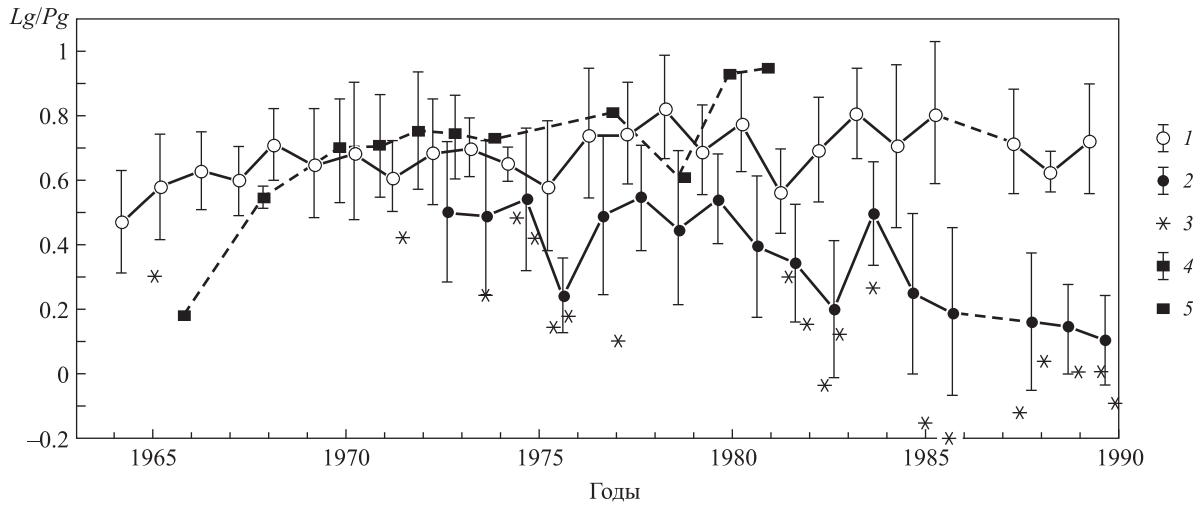


Рис. 3. Вариации параметра Lg/Pg для подземных ядерных взрывов, проведенных на территории СИП и зарегистрированных ст. TLG

Средние годовые значения и стандартные отклонения для площадок Дегелен (1), Балапан (2) и Сары-Узень (4); 3 – данные для отдельных взрывов на площадке Балапан с эпицентрами вблизи от разломных зон; 5 – данные для отдельных взрывов на площадке Сары-Узень

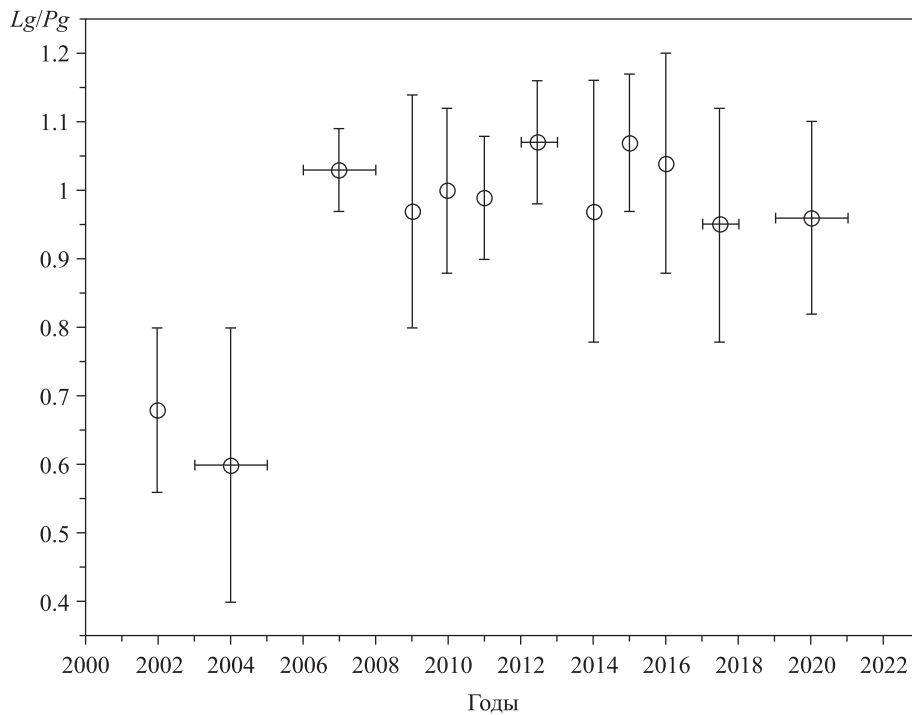


Рис. 4. Вариации параметра Lg/Pg для взрывов, проведенных в карьере Каражыра и зарегистрированных ст. MKAR

Показаны средние значения, стандартные отклонения и интервалы осреднения данных (в остальных случаях – осреднение за год)

и Сары-Узень. Это связано в значительной степени с более низкой величиной параметра Lg/Pg (в среднем на 0.3–0.4 ед. лог.) для взрывов, произошедших вблизи от разломных зон (на расстояниях не более 2–3 км от осей разломов) по сравнению с остальными событиями на площадке Балапан. В то же время средние величины параметра Lg/Pg для площадки Дегелен и особенно для

площадки Сары-Узень (по меньшему количеству данных) значительно выше, чем для площадки Балапан.

Для всех трех площадок наблюдаются существенные временные вариации рассматриваемого параметра. Так, для взрывов на площадке Дегелен с середины 1960-х до конца 1970-х годов величина Lg/Pg заметно выросла; далее, до конца 1980-х годов, она оставалась

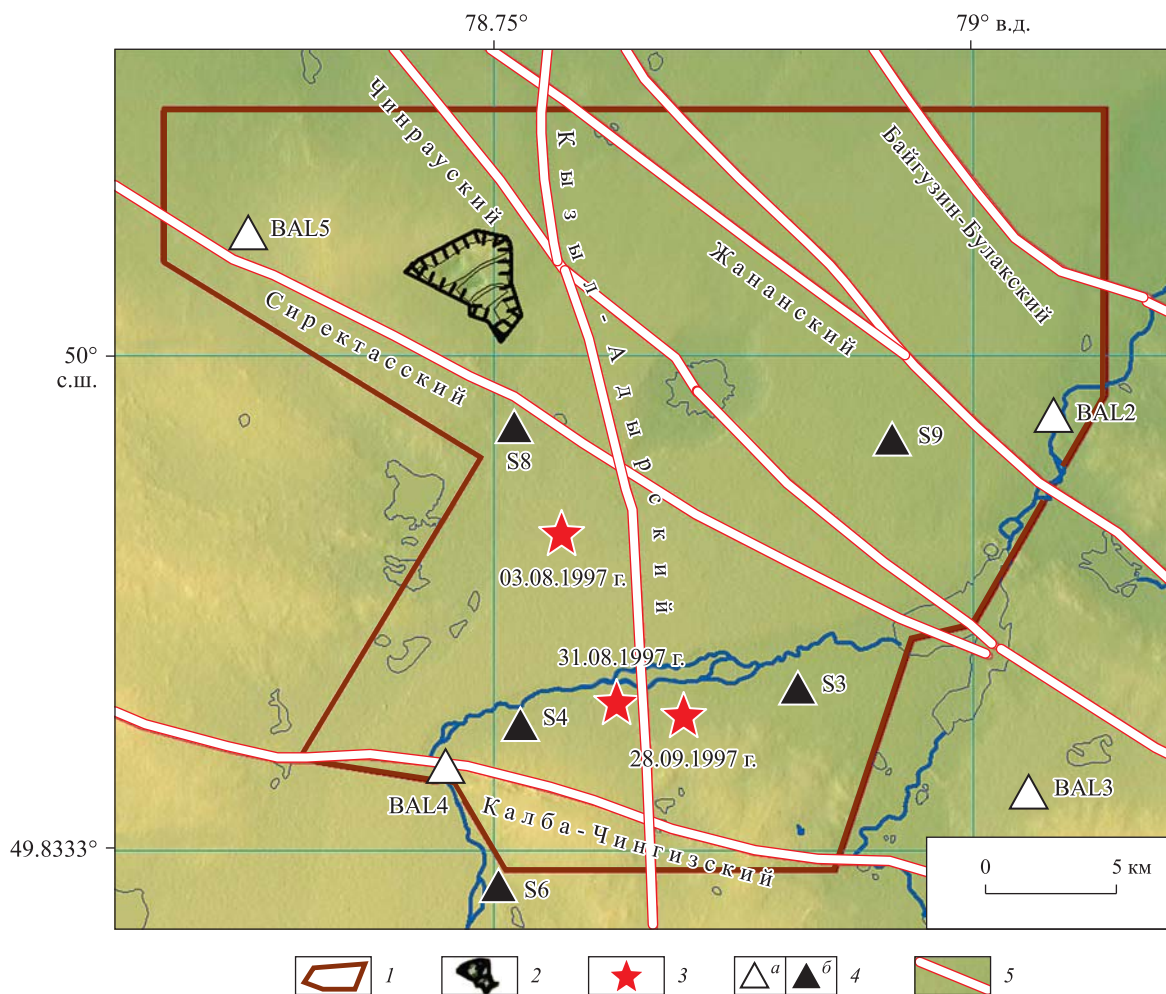


Рис. 5. Карта площадки Балапан

1 – границы площадки; 2 – карьер Каражыра; 3 – эпицентры калибровочных взрывов; 4 – сейсмические станции (а – станции, зарегистрировавшие карьерные взрывы, б – станции, зарегистрировавшие калибровочные взрывы); 5 – глубинные разломы

примерно на одном уровне. Еще более значительно этот параметр увеличился для взрывов на площадке Сары-Узень (с 1965 по 1980 г.). В то же время начиная с 1980 г. для взрывов на площадке Балапан наблюдается постепенное уменьшение величины Lg/Pg – в среднем на 0.4–0.5 ед. лог. в 1980–1989 гг. В конце 1980-х годов различие средних значений данного параметра для взрывов на площадках Дегелен и Балапан достигает 0.6 ед. лог.

На рис. 4 представлена зависимость параметра Lg/Pg от времени, построенная по записям взрывов на карьере Каражыра, полученным ст. МКАР. Для этих взрывов трассы до станции проходят через площадку Балапан. Видно, что величины указанного параметра значительно выросли с 2002 по 2006 г., а далее, до 2021 г., находились приблизительно на одном уровне. На рис. 5 представлена карта площадки Балапан, на которой показано положение эпицентров калибровочных взрывов, карьера Каражыра, а также временных станций.

На рис. 6–8 показаны общие огибающие S-коды, построенные по записям калибровочных взрывов, которые проводились в 1997 г. на площадке Балапан. Огибающие строились путем совмещения нескольких кривых (обычно 4–6), полученных по записям разных событий, поэтому в них имеет место осреднение различных параметров источников.

Из представленных на рисунках данных следует, что в конце 1990-х годов очень резкое спадание амплитуд в коде при $t \sim 18–50$ с наблюдалось для станций, расположенных на малых расстояниях от крупных разломных зон (S4, S6 и S8). Для двухслойной модели среды со средними скоростями S-волн в коре и верхней мантии равными соответственно 3.5 и 4.6 км/с эти времена соответствуют глубинам $h \sim 30–100$ км. Оценки эффективной добротности по формуле (1) для трех станций дают величины $Q_s \sim 50–65$. Для станций S3 и S9, расположенных дальше от крупных разломных зон, амплитуды затухают значительно слабее (величины $Q_s \sim 90–95$).

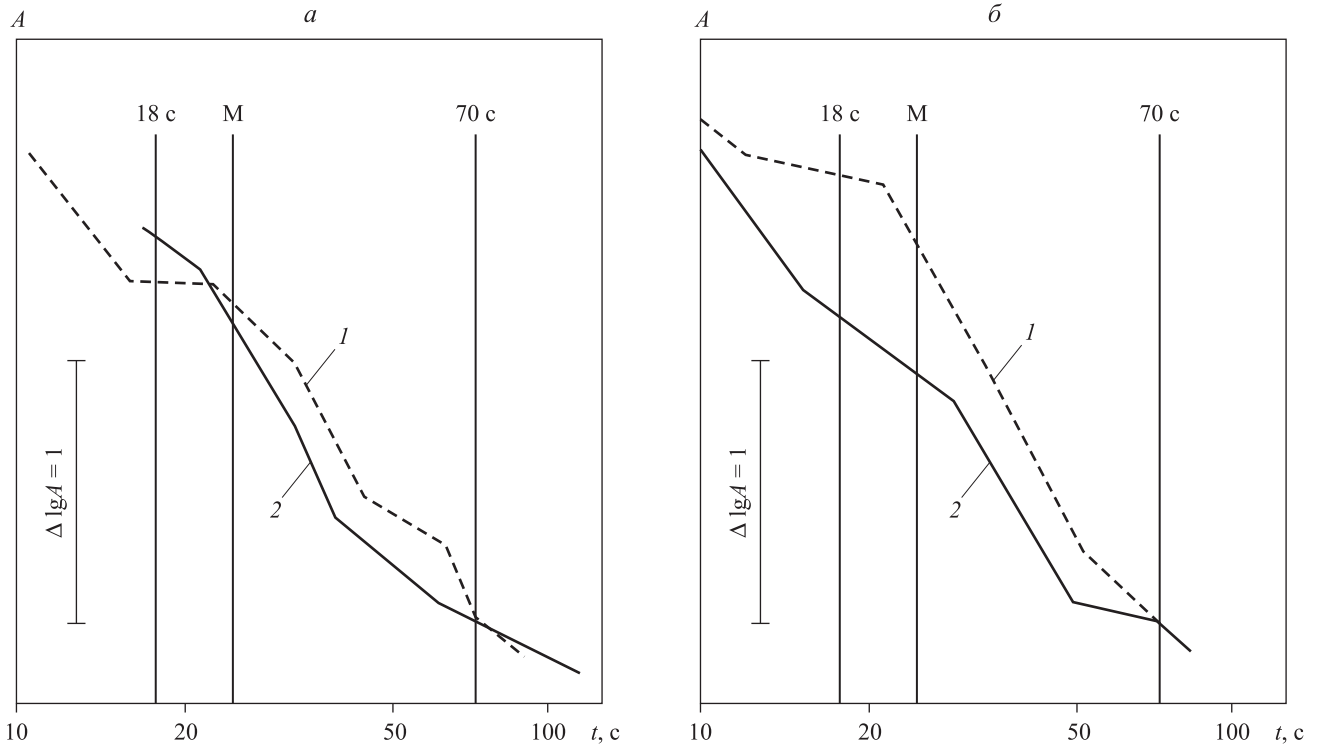


Рис. 6. Огибающие коды для взрывов, зарегистрированных станциями S3 (1) и BAL3 (2) (а) и S4 (1) и BAL4 (2) (б). Канал 1.25 Гц

М – граница Мохо

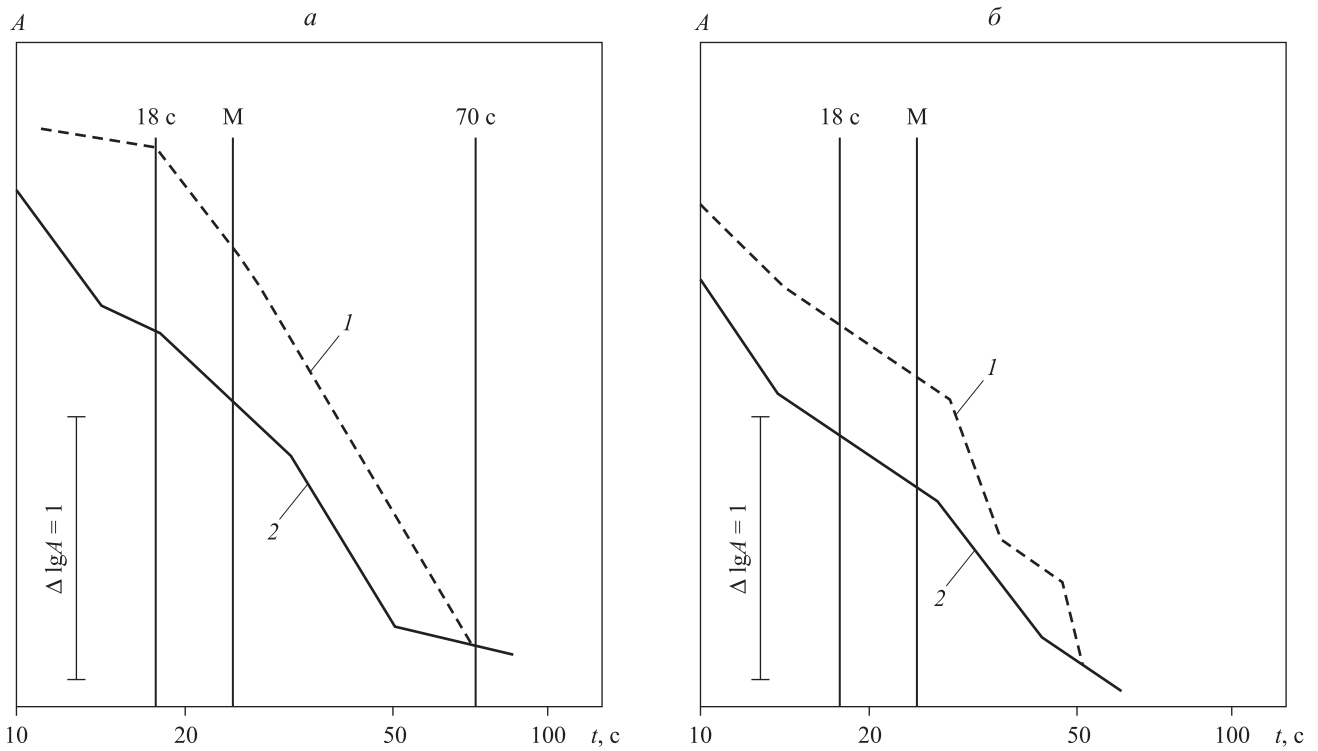


Рис. 7. Огибающие коды для взрывов, зарегистрированных станциями S6 (1) и BAL4 (2) (а) и S8 (1) и BAL5 (2) (б). Канал 1.25 Гц

М – граница Мохо

На рис. 6–8 для сравнения приведены огибающие коды, построенные по записям взрывов, производившихся в 2005–2021 гг. в карьере Каражыра и зарегистрированных временными станциями, близкими по техническому оснащению к соответствующим станциям, для которых анализировались записи калибровочных взрывов (при совмещении огибающих на относительно больших временах, в основном при $t = 70$ с). Для всех огибающих коды записей карьерных взрывов, построенных для трех станций, расположенных вблизи от разломных зон, (S4, S6, S8) начиная с $t = 18$ с амплитуды спадают значительно слабее, чем для калибровочных взрывов (различия составляют 0.45–0.70). В то же время для станций S3 и S9 указанные различия не превышают 0.20. Эффективная добротность в интервале 18–50 с по записям карьерных взрывов варьируется в диапазоне 60–120.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют об очень сильных пространственно-временных вариациях структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии в районе СИП на глубинах до ~150 км (что соответствует $t \sim 70$ с). Наиболее естественное объяснение обнаруженных эффектов связано с миграцией глубинных флюидов, существенно влияющих на поглощение короткопериодных поперечных волн. Вариации параметра Lg/Pg на трассах до ст. TLG могут быть обусловлены горизонтальной миграцией флюидов по нижней коре в районе СИП. Нижняя кора характеризуется наибольшим содержанием флюидов, что приводит к высокой электропроводности этой части литосферы [Ваньян, Хайндман, 1996].

Можно полагать, что длительное интенсивное техногенное воздействие мощных взрывов на геологическую среду вызвало перераспределение флюидов в земной коре СИП благодаря «оттоку» их из областей площадок Дегелен и Сары-Узень в сторону площадки Балапан, где было проведено наибольшее количество самых сильных ПЯВ. Такой процесс позволяет объяснить увеличение поглощения в земной коре в районе площадки Балапан с одновременным его уменьшением на двух других площадках. Высокая электропроводность нижней коры может проявиться только в случае существования сети связанных между собой пор и трещин, заполненных флюидом [Ваньян, Хайндман, 1996]. Регулярная вибрация в результате мощных взрывов в среде такого типа облегчает миграцию флюидов по нижней коре.

В то же время данные о вариациях параметра Lg/Pg по записям карьерных взрывов (ст. MKAR) свидетельствуют, что начиная с 2006 г. поглощение S-волн в коре площадки Балапан снова уменьшилось. Есть основания предполагать, что этот эффект обусловлен дальнейшим расплыванием флюидов от площадки Балапан в результате вибрации, обусловленной карьерными взрывами. В данном случае значительно меньшая мощность взрывов по сравнению с ПЯВ частично компенсируется резким увеличением их количества.

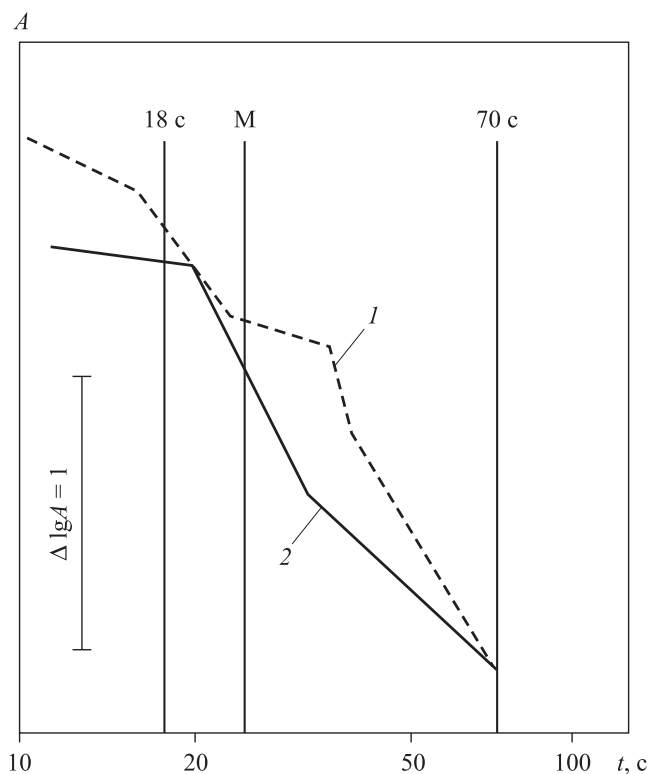


Рис. 8. Огибающие коды для взрывов, зарегистрированных станциями S9 (1) и BAL2 (2)

По нашему мнению, очень быстрое затухание огибающих коды в 1997 г. для станций, расположенных вблизи от разломных зон, может быть связано с концентрацией флюидов в этих зонах литосферы (на глубинах ~30–150 км) под воздействием мощных ПЯВ. Отметим, что при достаточно большой толщине двухфазного слоя с соединяющимися порами и трещинами, заполненными флюидом, на кровле слоя имеет место концентрация напряжений, которая стимулирует подъем флюидов [Каракин, Лобковский, 1982; Gold, Soter, 1984/1985]. Это позволяет объяснить перемещение со временем участков крутого наклона огибающих на меньшие времена.

Аномально высокое поглощение S-волн в земной коре и верхах мантии наблюдалось для площадки Балапан с конца 1980-х годов по крайней мере до 2005 г. Известно, что в слабосейсмичных районах Центральной Азии, к которым относятся и Казахстанская платформа, средние скорости сейсмических волн в коре и верхах мантии обычно заметно выше, а поглощение слабее, чем в тектонически активных районах [Копничев, 1985; Копничев, Аракелян, 1988; Roecker et al., 1993; Беляшова и др., 2000]. Тем не менее сопоставление приведенных данных с полученными в работе [Копничев, Соколова, 2019] показывает, что поглощение S-волн в конце 1990-х годов для трех станций на площадке Балапан на глубинах ~30–100 км оказалось значительно сильнее, чем для района Северного Тянь-Шаня, где зарегистрированы сильнейшие землетрясения с $M \sim 8$, и вместе с тем минимальные величины Q_s составляли ~60–80.

Согласно нашим предположениям, зона высокого поглощения *S*-волн в районе площадки Балапан могла простирается до глубин ~150 км. Ранее было установлено, что аналогичные вариации структуры поля поглощения наблюдались в районах двух других крупнейших ядерных полигонов – Невадского и Лобнорского [Копничев и др., 2013; Koprnichev, Sokolova, 2018]. Таким образом, длительное интенсивное техногенное воздействие на геологическую среду может приводить к существенному изменению ее характеристик до достаточно больших глубин не только в земной коре, но и в верхах мантии.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470) и частично из бюджетных средств Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны А.Е. Великанову за помощь в доредакционном оформлении статьи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляшова Н.Н., Шацлов В.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Беляшов А.В., Малахова М.Н. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза земной коры и верхней мантии // Вестн. НЯЦ РК. 2000. Вып. 2. С. 45–52.
- Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры // Физика Земли. 1996. № 4. С. 5–11.
- Великанов А.Е., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С. Изучение источников промышленных взрывов на территории Казахстана // Вестн. НЯЦ РК. 2013. Вып. 2. С. 77–85.
- Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР, 1949–1990 гг. / Под ред. В.Н. Михайлова. Саров: РФЯЦ; ВНИИЭФ, 1996. 66 с.
- Каракин А.В., Лобковский Л.И. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы // Докл. АН СССР. 1982. Т. 268, № 2. С. 324–329.
- Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985. 176 с.
- Копничев Ю.Ф., Аракелян А.Р. О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 77–92.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Картирование поля поглощения *S*-волн по коде записей местных землетрясений и карьерных взрывов в районе Северного Тянь-Шаня // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 4. С. 241–252. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.4-20>
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н., Соколов К.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения *S*-волн в районе Невадского ядерного полигона // Физика Земли. 2013. № 6. С. 39–48.
- Основные типы сейсмометрических приборов // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР / Отв. ред. З.И. Аранович, Д.П. Киринос, В.М. Фрейд. М.: Наука, 1974. С. 117.
- Тектоника Казахстана: Объяснительная записка к Тектонической карте Восточного Казахстана масштаба 1 : 2 500 000) / Отв. ред.: А.В. Пейве, А.А. Моссаковский. М.: Наука, 1982. 139 с.
- Aptikaeva O.I., Koprnichev Yu.F. Space-time variations of the coda wave envelopes of local earthquakes in the region of Central Asia // J. Earthq. Predict. Res. 1993. V. 2, N 4. P. 497–514.
- Gold T., Soter S. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes // Pure Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492–530.
- Koprnichev Yu.F., Sokolova I.N. Temporal variations of the *S*-wave attenuation field in the area of the Lop Nor nuclear test site // Seismic Instruments. 2018. V. 54, N 6. P. 691–694.
- Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre, 2016, January–June. 2019. V. 53, is. 1. P. 27–38.
- Ringdal F., Marshall P., Alewine R. Seismic yield determination of Soviet underground nuclear explosions in the Shagan River test site // Geophys. J. Intern. 1992. V. 109. P. 65–77.
- Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P., Burmakov Y.A., Golvanov M.I., Mamatkanova R., Munirova L. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan // J. Geophys. Res. 1993. V. 98, N B9. P. 15779–15795.

Сведения об авторах

КОПНИЧЕВ Юрий Федорович – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. E-mail: yufk777@mail.ru

СОКОЛОВА Инна Николаевна – Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Министерства энергетики Республики Казахстан. Казахстан, 071100, г. Курчатов, площадка Меридиан. E-mail: sokolova@kndc.kz

SPACE-TIME VARIATIONS OF SHORT-PERIOD S-WAVE ATTENUATION FIELD IN THE REGION OF SEMIPALATINSK TEST SITE (USING RECORDINGS OF NUCLEAR AND CHEMICAL EXPLOSIONS)

© 2022 Yu.F. Kopnichev^{1*}, I.N. Sokolova²

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Institute of Geophysical Research, National Nuclear Center of the Ministry of Energy
of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

* e-mail: yufk777@mail.ru

Abstract. We have been analyzing spatio-temporal variations of shear wave attenuation field in the region of Semipalatinsk Test Site (STS). We studied variations of amplitude ratio for *Lg* and *Pg* waves (параметр *Lg/Pg*) using recordings of underground nuclear and also calibration and quarry explosions till the end of 1980-th and 2021 respectively. Variations of *S*-coda envelopes using seismograms of chemical explosions, obtained by near stations on the territory of the STS, were also investigated. We suppose that space-time variations of short-period *S*-wave attenuation field are connected with deep-seated fluids migration in the earth crust and uppermost mantle, stipulated by long-term intensive explosion influence on the geological medium.

Keywords: Semipalatinsk Test Site, shear waves, attenuation, deep-seated fluids.

About the authors

KOPNICHEV Yuri Fedorovich – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Russia, 123242, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 10-1. E-mail: yufk777@mail.ru

SOKOLOVA Inna Nikolayevna – Institute of Geophysical Research, National Nuclear Center of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, 071100, Kurchatov, Meridian site. E-mail: sokolova@kndc.kz

Cite this article as: Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N. Space-time variations of short-period *S*-wave attenuation field in the region of Semipalatinsk Test Site (using recordings of nuclear and chemical explosions), *Geofizicheskie Protsessy i Biosfera* (Geophysical Processes and Biosphere), 2022, vol. 21, no. 4, pp. ???-??? (in Russian). <https://doi.org/10.21455/gpb2022.4-???>

English version: *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2022, vol. 58. ISSN: 0001-4338 (Print), 1555-628X (Online). <https://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11485>