

УДК 550.348

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Кульчицкий В. Е.

Государственное автономное учреждение Республики Крым «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Симферополь, Российская Федерация

E-mail: vekkes@rambler.ru

В статье представлены результаты расчетов новых годографов сейсмических волн Pg , Sg , Pn , Sn для Крымско-Черноморского региона. Использовались данные о кинематических параметрах землетрясений региона, зарегистрированных сетью сейсмических станций Крыма и станциями, окружающими Черноморский бассейн. Годографы представлены в компактном виде как зависимости скоростей волн от глубины.

Ключевые слова: землетрясения, годографы волн, глубина очага, скорости сейсмических волн, продольные волны, поперечные волны, прямые волны, головные волны.

ВВЕДЕНИЕ

Координаты очага землетрясения определяются по временам вступления фаз сейсмических волн, записанных аппаратурой на сейсмических станциях. Основой этих определений служат алгоритмы расчетов, использующих, кроме времен вступления волн, информацию о скоростных характеристиках среды на пути распространения сейсмических волн от очага до станций.

На сейсмограммах землетрясений Крымско-Черноморского региона выделяются, в основном, два типа волн: прямые и головные. График зависимости времен пробега волн от эпицентрального расстояния называется годографом. Для прямых продольных Pg - и поперечных Sg -волн годографы описываются гиперболическими уравнениями вида:

$$t = (1/V)\sqrt{\Delta^2 + h^2}, \quad (1)$$

где t – время вступления волны, V – средняя скорость волны на трассе распространения, Δ – эпицентральное расстояние, h – глубина очага. Траектория такого луча – прямая линия между очагом и станцией. Продольные Pn и поперечные Sn головные волны образуются при полном внутреннем отражении волн, падающих на границу «земная кора – мантия». Годографы этих волн представлены линейными уравнениями:

$$t = a + \Delta/V. \quad (2)$$

Впервые для Крыма годографы продольной Pg и поперечной Sg сейсмических волн для глубин 5 км, 15 км, 25 км, 35 км были построены А. Я. Левицкой в 1948 г. по записям 33 крымских землетрясений [1]. Позднее в статье [2] были представлены годографы фиктивных волн $Sg-Pg$ для глубин 7 км и 20 км, прямых волн Pg для глубины 20 км.

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

В Крыму в 80-х годах прошлого столетия для обработки сейсмологической информации была разработана программа расчета координат гипоцентров. На основе результатов расчетов была создана система годографов Pg -, Sg - и Pn -волн [3]. При построении годографов использовались фазы прямых волн от 45 местных землетрясений и головных волн от 12 близких землетрясений бассейна Черного моря.

Алгоритм этой программы представляет задачу поиска локального минимума некоторого объема в районе искомого гипоцентра землетрясения [3, 4]. Координаты каждой точки внутри объема находились в результате решения системы троек линейных уравнений, преобразованных из нелинейных уравнений прямых волн (1). Каждой точке объема соответствовал набор времен вступлений волн на станциях регистрации в заданных интервалах погрешностей их определения. Таким образом, для каждого землетрясения определялся собственный годограф. Аппроксимация совокупностей полученных годографов гиперболическими уравнениями (1) для определенных интервалов позволила представить окончательные годографы для глубин 5–35 км с градацией интервала по 5 км.

Для годографов головных волн Pn использовалась информация о временах вступлений волн на сейсмические станции, опубликованные в Международных сейсмологических бюллетенях. Градация по глубинам производилась в тех же интервалах глубин. Для краткости годографы из работы [3] будем называть «годографы-83».

В работе [3] список землетрясения ограничен последними датами: прямые волны – 1983 г, головные волны – 1976 г. С этих пор прошло около трех с половиной десятилетий. Накоплен достаточно большой сейсмологический материал, требующий пересмотра и уточнения старых годографов.

В настоящей работе приведены результаты исследования по уточнению годографов-83 с привлечением новых данных о кинематических параметрах Крымско-Черноморских землетрясений за период с 1963 по 2016 гг. Представлены зависимости расчетных скоростей прямых и головных волн от глубины. Такое компактное представление эквивалентно представлению годографов как зависимостей времен пробега от эпицентральных расстояний. Оно основано на соответствии экспериментальных годографов теоретическим гиперболическим уравнениям для прямых волн и линейным уравнениям для головных волн. При расчетах на ЭВМ достаточно знать скоростной разрез среды [5].

1. АЛГОРИТМ РАСЧЕТОВ ГОДОГРАФОВ ПРЯМЫХ ВОЛН

В настоящей работе использовались кинематические данные записей Крымско-Черноморских землетрясений, взятые из работы [6] и Бюллетеней [7 – 15]. В отличие от [3], в которой расчеты основаны на решении линейных уравнений, в настоящей работе применялись системы нелинейных уравнений вида:

$$\begin{aligned}
 (1/V_j)^2((X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + H^2) &= t_1^2 \\
 (1/V_j)^2((X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + H^2) &= t_2^2 \\
 (1/V_j)^2((X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + H^2) &= t_3^2 \\
 (1/V_j)^2((X_4 - X_0)^2 + (Y_4 - Y_0)^2 + H^2) &= t_4^2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где $(X_1, X_2, X_3, X_4); (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$ – преобразованные на плоскость, касательную земной сфере, географические широты и долготы сейсмических станций, X_0, Y_0 – координаты эпицентра в выбранной прямоугольной системе на плоскости, H – глубина очага, V_j – скорость j -волны ($j=P, S$), t_1, t_2, t_3, t_4 – времена пробега волны до станции (1.4). В уравнениях (3) четыре неизвестных: X_0, Y_0, H, V . Система нелинейных уравнений решается численными методами. Времена пробега определялись из графика Вадати $t_p = t_0 + a(t_s - t_p)$, где t_p, t_s – времена вступлений сейсмических волн Pg и Sg , t_0 – время возникновения землетрясения, $a = 1/(k-1)$, $k = V_p/V_s$, отношение скорости продольной V_p к скорости поперечной V_s волне. После вычисления X_0, Y_0 проводился их пересчет в географические координаты.

Отбиралась следующая информация о временах вступления волн.

1. Если имелось только четыре пары t_p и t_s , зарегистрированных на 4-х сейсмических станциях, система уравнений решались для Pg - и Sg -волн. Для контроля привлекалась также системы уравнений для фиктивных Sg - Pg -волн, так как разность вступлений не зависит от времени в очаге. Для каждого землетрясения должны выполняться условия близости полученных значений X_0, Y_0, H для всех трех волн – двух прямых и фиктивной. Это условие служит контролем хорошего приближения к модели гиперболического годографа.

2. В случае более четырех станций с парами времен Pg - и Sg -волн, указанное условие должно выполняться для всех переборов по четверкам станций.

По указанным критериям были отобраны 205 землетрясений, для которых рассчитаны массивы координат, глубин и скоростей. Анализ полученных данных показывает, что очаги землетрясений находятся на глубинах очагов до 50 км.

Затем массивы группировались по интервалам глубин 0–10 км, 5–15 км, 10–20 км, 15–25 км, 20–30 км, 25–35 км, 30–40 км и 35–45 км. В каждом интервале глубин рассчитывались средние скорости V и среднеквадратичные отклонения dV . Этим скоростям приписывались значения середины интервалов глубин.

Для глубин более 50 км построены зависимости скоростей P - и S -волн от глубины, рассчитанные из годографов Кеннета [6]. В таблицах Кеннета годографы представлены в виде таблиц с градацией по глубинам 0 км, 15 км, 50 км и, далее, до 700 км с интервалами в 50 км. Эпицентральные расстояния заданы с шагом в 1°. Для Крымско-Черноморского региона, по нашему мнению, целесообразной является выборка из этих таблиц в интервале глубин 50–300 км и эпицентральных расстояний 0°–5°. Для этих диапазонов ветви годографов хорошо описываются гиперболами вида (1). На Рис. 1 показан пример годографа P -волны по Кеннету для глубины 200 км в интервале эпицентральных расстояний 0°–5°.

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

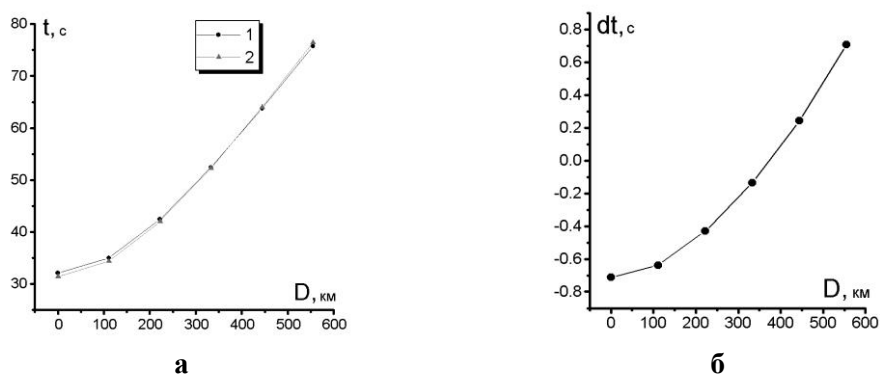


Рис. 1. Глубинный годограф (1) по таблицам Кеннета [6] для глубины 200 км (а). Отклонение аппроксимированной гиперболы (2) относительно годографа Кеннета (б).

Расчетные зависимости скоростей прямых волн от глубины показаны на Рис. 2, 3.

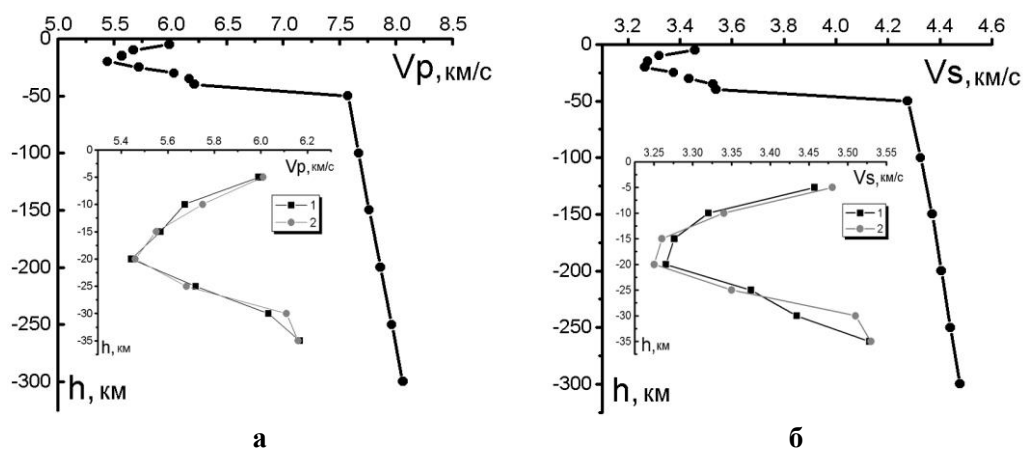


Рис. 2. Зависимости скорости прямых продольной V_p (а) и поперечной V_s (б) волн от глубины h . На врезках показаны различия в скоростях, полученных в настоящей работе (1) и из годографов-83 (2).

2. РАСЧЕТ ГОДОГРАФОВ ГОЛОВНЫХ ВОЛН

Как и в работе [3], годографы головных волн определялись по данным времен вступления головных волн от землетрясений Черноморского бассейна, зарегистрированных сетью сейсмических станций стран, окружающих Черное море. Можно было бы воспользоваться таблицами Кеннета [6]. Однако мы посчитали, что региональные данные лучше будут определять скоростное строение среды, чем общемировые стандартные годографы.

При построении годографов головных волн из таблиц времен вступлений [16] выбирались только фазы волн Pn и Sn . Всего обработано 106 землетрясения для Pn -волн и 60 землетрясения для Sn -волн. Для каждого выбранного землетрясения составлялись таблицы значений времен вступлений волн Pn и Sn на станции, эпицентральных расстояний Δ , глубин очагов h . Экспериментальные данные $t_{Pn}(\Delta)$, $t_{Sn}(\Delta)$, аппроксимировались линейной функцией $t = a + \Delta/V$. Таким образом, для расчетов гипоцентров по головным волнам были представлены два параметра a и V . Зависимости $V_{pn}(h)$, $a_{pn}(h)$, $V_{sn}(h)$, $a_{sn}(h)$ получены по схеме, аналогичной прямым волнам (Рис. 3, 4). Так как головные волны не распространяются ниже поверхности, на которой происходит полное внутреннее отражение, годографы ограничены глубиной 40 км. В работе [3] не представлены годографы Sn -волн, поэтому на Рис. 4 показаны только наши зависимости $V_{sn}(h)$, $a_{sn}(h)$.

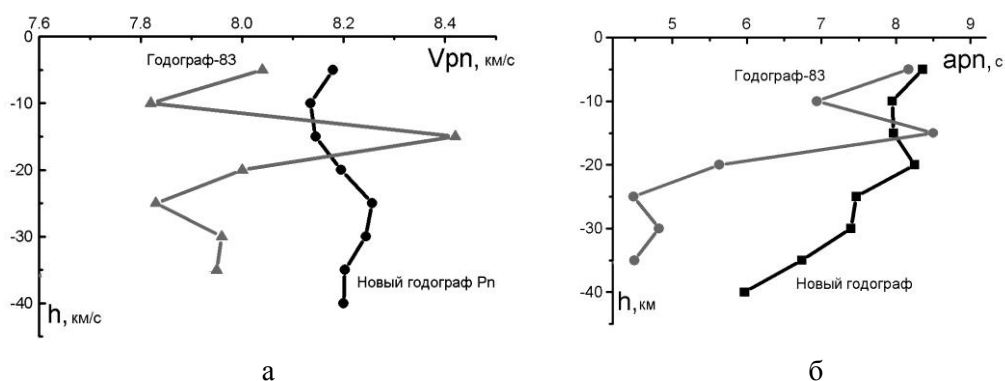


Рис. 3. Зависимость скорости головной волны Pn (а) и параметра a_{pn} (б) от глубины h . Приведены сравнения аналогичных параметров с результатами из работы [3].

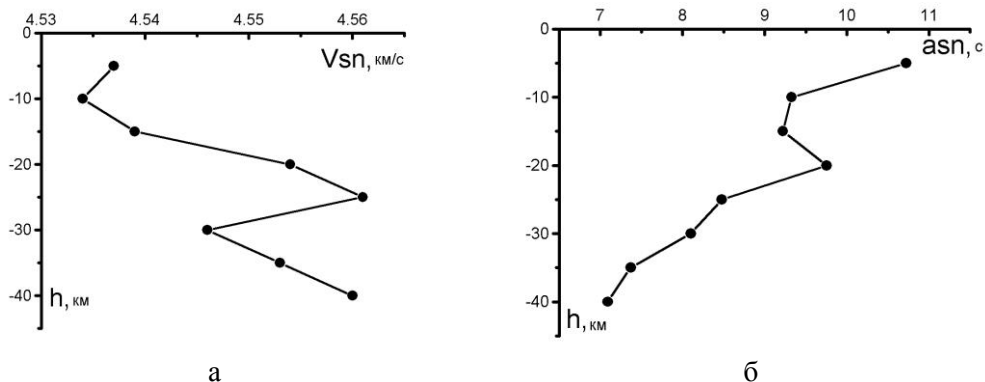


Рис. 4. Зависимости расчетной скорости поперечной головной волны V_{sn} и параметра a_{sn} от глубины h .

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Годографы прямых и головных волн для одной и той же глубины пересекаются в некоторых точках, соответствующих эпицентральному расстояниям D_0 . График зависимости $D_0(h)$ представлен на Рис. 5. Эта зависимость может быть полезной при выборе типа волны на расстояниях вблизи D_0 .

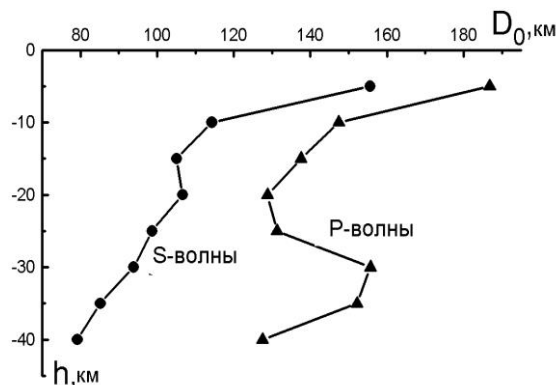


Рис. 5. График зависимости от глубины эпицентрального расстояния точки пересечения годографов прямых и головных волн.

Как и в годографе-83, в новых зависимостях скоростей прямых волн от глубины наблюдается тенденция уменьшения скоростей волн в земной коре на глубинах от 5 до 20 км. Затем с 20 до 40 км происходит монотонное увеличение скоростей. Возможно, эта тенденция свидетельствует о наличии мощного слоя пониженных скоростей на глубинах от 5 до 20 км. Вариации скоростей V_{pn} и V_{sn} по глубине находятся в интервалах погрешностей их определения. Изменения параметров apn и asn с глубиной могут быть связаны с особенностями распространения головных волн в земной коре.

Ниже представлены распределения скоростей сейсмических волн по глубине в табличном виде (Табл. 1–2).

Таблица 1.

Распределение скоростей прямых волн Pg и Sg по глубине h

Глубина, км	Pg -волны	Sg -волны
	$V_p, \text{ км/с}$	$V_s, \text{ км/с}$
2	2	3
5	5.99 ± 0.13	3.46 ± 0.11
10	5.67 ± 0.22	3.32 ± 0.19
15	5.57 ± 0.16	3.28 ± 0.11
20	5.44 ± 0.12	3.27 ± 0.11
25	5.72 ± 0.3	3.38 ± 0.25
30	6.03 ± 0.23	3.43 ± 0.18
35	6.17 ± 0.17	3.53 ± 0.09

Продолжение таблицы 1.

1	2	3
40	6.21±0.28	3.54±0.12
50	7.57±0.94	4.28±1.40
100	7.67±0.63	4.33±0.85
150	7.76±0.51	4.37±0.69
200	7.86±0.48	4.41±0.66
250	7.96±0.5	4.44±0.71
300	8.06±0.54	4.48±0.81

Таблица 2.

Распределение скоростей головных волн Pn и Sn по глубине h

Глубина, км	V_{pn} -волны		V_{sn} -волны	
	V_{pn} , км/с	a_{pn} , с	V_{sn} , км/с	a_{sn} , с
5	8.18±0.13	8.36±1.59	4.54±0.03	10.72±1.11
10	8.14±0.2	7.95±1.63	4.53±0.07	9.33±2.17
15	8.15±0.2	7.97±1.64	4.54±0.07	9.22±2.09
20	8.20±0.132	8.25±1.18	4.55±0.03	9.75±1.85
25	8.26±0.152	7.47±1.31	4.56±0.3	8.48±1.29
30	8.24±0.14	7.40±1.46	4.55±0.06	8.10±1.76
35	8.20±0.15	6.75±1.86	4.55±0.08	7.37±2.03
40	8.20±0.18	5.97±2.2	4.56±0.08	7.09±2.35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены материалы результатов расчетов новых годографов прямых и головных волн для Крымско-Черноморского региона. Необходимость пересмотра старых годографов [3] возникла в связи с тем, что годографы [3] получены по малому статистическому материалу (45 землетрясений для прямых волн и 12 землетрясений для головных волн).

В настоящей работе использованы записи 205 землетрясений для прямых, 106 для Pn -волн и 60 – для Sn -волн. То есть, больше в 4.5 раза для прямых волн и почти в 9 раз больше – для головных волн. Кроме того, расчеты проводились по иной методике, чем в работе [3]. Годографы представлены в виде скоростных разрезов. При этом предполагалось, что уравнения годографов для прямых волн описываются гиперболическими уравнениями (1), для головных волн – уравнениями (2). Для глубин более 40 км зависимости скоростей продольных и поперечных волн от глубины были получены в результате анализа табличных годографов Кеннета [6]. Распределение скоростей по глубине для волн Pn , Sn получено в результате обработки информации по временам вступлений Pn , Sn , взятых из таблиц сайта <http://www.isc.ac.uk/> [16].

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

В результате расчетов получены эмпирические зависимости от глубины скоростей прямых волн V_p, V_s , скоростей головных волн V_{Pn}, V_{Sn} и параметров apn, asn . Данные представлены в графиках и таблицах. Основная особенность этих зависимостей: от 5 до 20 км скорости прямых волн уменьшаются, с увеличением глубины после 20 км скорости монотонно возрастают. Вероятно, это свидетельствует о наличии на глубинах менее 20 км мощного слоя пониженных скоростей.

Автор надеется, что представленные в статье материалы могут быть полезными для обработки сейсмологической информации, в частности, для расчета основных параметров землетрясений Крымско-Черноморского региона.

Список литературы

1. Левицкая Ф. Я. О крымских землетрясениях по данным сейсмических станций Крыма // Труды сейсмологического института АН СССР. 1948. N127. С. 16–18.
2. Кульчицкий В. Е., Пустовитенко Б. Г., Дубинский И. Б. К методике обработки крымско-черноморских землетрясений // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР Крым-Карпаты за 1975–1976 гг. Киев: Наукова думка, 1982. С. 125–141.
3. Кульчицкий В. Е., Сафонова Г. П., Свидлова В. А. Годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым–Карпаты, 1983 г.). Киев: Наукова думка, 1986. С. 94–103.
4. Кульчицкий В. Е., Пустовитенко Б. Г. Об одном способе расчета координат гипоцентров местных землетрясений по данным времен вступлений объемных волн // Сейсмологический бюллетень Украины за 2001 г. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2003. С. 115–123.
5. Кульчицкий В. Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (ГИРО-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 г. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. С. 28–33.
6. Seismological Tables: ak135. Compiled by Kennett B. L. N. Canberra: Research School of Earth Sciences the Australian National University. 2005, 289 p.
7. Сейсмологические данные по Украине. Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 1963–1967 гг. Киев: Наукова думка, 1969. 76 с.
8. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты, 1970–1988 гг.). Киев: Наукова думка, 1974–1990.
9. Сейсмологический Бюллетень, Западной зоны ЕССН СССР за 1989 г. Киев: Наукова думка, 1992. 143 с.
10. Сейсмологический Бюллетень Западной зоны системы сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. Киев: Наукова думка, 1994. 193 с.
11. Землетрясения Украины в 1991 г. Сейсмологический бюллетень. Киев: Наукова думка, 1995. 91 с.
12. Сейсмологический бюллетень Украины за 1992–2013 гг. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1994–2014.
13. Свидлова В. А., Калинюк И. В., Бондарь М. Н., Козиненко Н. М., Сыкчина З. Н. Сейсмичность Крыма в 2014 г. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия «География». 2014. Том 27(66). N4. С. 7–69.
14. Калинюк И. В., Свидлова В. А., Сыкчина З. Н., Бондарь М. Н. Сейсмичность Крыма в 2015 г. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2016. Том 2(68). N4. С. 7–52.
15. Свидлова В. А., Сыкчина З. Н., Бондарь М. Н., Бойко В. А. Сейсмичность Крыма в 2016 г. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2017. Том 3(69). N4. С. 7–50.
16. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.isc.ac.uk/> (дата обращения: 17.08.2018).

**NEW HODOGRAPH OF SEISMIC WAVES
OF CRIMEAN-BLACK SEA REGION**

Kulchitsky V. E.

*State Autonomous Institution of the Republic of Crimea «Crimean Expert Council for the Assessment of Seismic Hazard and Earthquake Prediction», Simferopol, Russian Federation
E-mail: vekkes@rambler.ru*

The article presents the results of calculations results new hodographs of Pg, Sg, Pn, Sn seismic waves for the Crimean Black Sea region, obtained from a large statistical material. We used the kinematic parameters of 205 earthquakes recorded by the network of seismic stations in Crimea, with seismic arrival times Pg, Sg, Assuming that Pg and Sg waves are described by a simple hyperbolic equation, an algorithm is proposed for calculating the main parameters of earthquakes.

The time of occurrence of the earthquake was from the graph of Vadati. To find the coordinates of the epicenters, the depths of the foci and the average wave velocities, systems of nonlinear equations for the Pg, Sg, and fictitious waves (Sg-Pg) were solved. Of the three solutions, only close values of the depths of the foci and coordinates of the epicenters were selected.

A sample of these solutions by depth intervals allowed us to represent the hodograph in a compact form, the dependences of average velocities on depths. Analysis of the data showed the absence of earthquakes with foci of more than 40 km at distances up to 120–160 km. At distances from 120 km to 600 km, the head waves Pn, Sn are recorded.

For depths greater than 40 km, the dependences of the speed of longitudinal and transverse waves on depth were obtained as a result of an analysis of the Kennett hodographs (Seismological Tables: ak135. Compiled by Kennett B.L.N., Research School of Earth Sciences the Australian National University. Canberra. 2005. 289 p.).

For the Pn, Sn waves, the velocity distribution over depth is obtained as a result of information processing by the arrival times Pn, Sn, taken from the tables of the site <http://www.isc.ac.uk/>.

The distribution of velocities for Pg, Sg, Pn, Sn waves in the interval of 5–40 km is presented with a gradation of 5 km, for depths of 50–300 km with a gradation of 50 km. Analysis of the results showed a decrease in the average velocity of the Pg and Sg waves in the depth interval of 5–20 km and an increase in the velocities at depths of 20–40 km. Perhaps this indicates the existence in the region of the crust of a region of a lower velocity. The results of the dependencies are presented in the form of graphs and tables, user-friendly.

Keywords: earthquakes, hodographs of waves, focal depth, seismic velocity, longitudinal waves, transverse waves, direct waves, head waves

References

1. Levickaya F. Ya. O krymskih zemletryasenyah po dannym sejsmicheskikh stancij Kryma // Trudy sejsmologicheskogo instituta AN SSSR. 1948, no. 127, pp. 16–18 (in Russian).

НОВЫЕ ГОДОГРАФЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

2. Kul'chickij V. E., Pustovitenko B. G., Dubinskij I. B. K metodike obrabotki krymsko-chernomorskih zemletryasenij // Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR Krym-Karpaty za 1975–1976 gg. Kiev: Naukova dumka, 1982, pp. 125–141 (in Russian).
3. Kul'chickij V. E., Safonova G. P., Svidlova V. A. Godografy sejsmicheskikh voln krymsko-chernomorskogo regiona // Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty, 1983 g.). Kiev: Naukova dumka, 1986, pp. 94–103 (in Russian).
4. Kul'chickij V. E., Pustovitenko B. G. Ob odnom sposobe rascheta koordinat gipocentrov mestnyh zemletryasenij po dannym vremen vstuplenij ob'emnyh voln // Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2001 g. Sevastopol': NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 2003, pp. 115–123 (in Russian).
5. Kul'chickij V. E. Programma rascheta koordinat gipocentrov zemletryasenij (GIPO-08) // Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2008 g. Sevastopol': NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 2010, pp. 28–33 (in Russian).
6. Seismological Tables: ak135. Compiled by Kennett B. L. N. Canberra: Research School of Earth Sciences the Australian National University, 2005, 289 p. (in English).
7. Sejsmologicheskie dannye po Ukraine. Katalog zemletryasenij krymsko-chernomorskogo regiona za 1963–1967 gg. Kiev: Naukova dumka, 1969, 76 p. (in Russian).
8. Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty, 1970–1988 gg.). Kiev: Naukova dumka, 1974–1990 (in Russian).
9. Sejsmologicheskij Byulleten', Zapadnoj zony ESSN SSSR za 1989 g. Kiev: Naukova dumka, 1992, 143 p. (in Russian).
10. Sejsmologicheskij Byulleten' Zapadnoj zony sistemy sejsmicheskikh nablyudenij Ukrainy i Moldovy za 1990 god. Kiev: Naukova dumka, 1994, 193 p. (in Russian).
11. Zemletryaseniya Ukrainy v 1991 g. Sejsmologicheskij byulleten'. Kiev: Naukova dumka, 1995, 91 p.
12. Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 1992–2013 gg. Sevastopol': NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 1994–2014 (in Russian).
13. Svidlova V. A., Kalinyuk I. V., Bondar' M. N., Kozinenko N. M., Sykchina Z. N. Sejsmichnost' Kryma v 2014 g. // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya». 2014, Tom 27(66), no. 4, pp. 7–69 (in Russian).
14. Kalinyuk I. V., Svidlova V. A., Sykchina Z. N., Bondar' M. N. Sejsmichnost' Kryma v 2015 g. // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2016, Tom 2(68), no. 4, pp. 7–52 (in Russian).
15. Svidlova V. A., Sykchina Z. N., Bondar' M. N., Bojko V.A. Sejsmichnost' Kryma v 2016 g. Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2017, Tom 3(69), no. 4, pp. 7–50 (in Russian).
16. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.isc.ac.uk/> (data obrashcheniya: 17.08.2018).