

УДК 550.348.435

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ  
ТЕРРИТОРИИ КРЫМА**

*Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Сухорученко С. К., Клянчин А. И.*

*ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Республика Крым, Россия.  
E-mail: bpustovitenko@mail.ru*

Дано описание организации наблюдений на сейсмических станциях «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ 2), представляющих фрагмент будущей локальной сейсмической сети северо-запада Крыма и первые полученные результаты. Описаны инженерно-геологические условия в районе станций. Дана оценка уровня сейсмических помех, дальности регистрации и точности станционных определений энергетических и спектральных характеристик. Приведен каталог и карты эпицентров землетрясений северо-западной части Крыма. Дан анализ эффективности работы станций. Сделан вывод о достаточно высокой чувствительности, эффективности и хорошем качестве регистрационных возможностей станций «Тарханкут» и «Донузлав-2». Обсуждается перспективность организации локальной сейсмической сети на северо-западе Крыма.

**Ключевые слова:** сейсмическая станция, землетрясение, сейсмичность, спектры помех, свойства грунтов, энергетические характеристики, представительность, эффективность, дальность регистрации, амплитудный спектр.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы заметно активизировались сейсмические процессы в северо-западной части шельфа Черного моря и на территории Тарханкутского полуострова. Отдельные слабые толчки неоднократно ощущались в селе Ванино Черноморского района (по данным МЧС). Предположительно такая активизация может иметь не только естественную сеймотектоническую, но и техногенную природу, связанную с инженерной деятельностью человека, в частности, с добычей, транспортировкой и закачкой на хранение углеводородного сырья.

На территории Черноморского района разведано несколько месторождений нефти и газа, к которым относятся нефтяные: Карлавское и Октябрьское; газа и конденсата: Задорненское, Краснополянское, Западно-Октябрьское, Черноморское, Оленевское, Ярылгачское [1]. В конце 50-х годов XX века было разведано Глебовское месторождение, которое с 1993 года переведено в состав крупного подземного хранилища газа (ПХГ). Глебовское ПХГ — природный резервуар большой емкости до 2 млрд м<sup>3</sup>, залегающий на глубине 940 м, является объектом исключительной государственной важности, обеспечивающим нормальную жизнедеятельность населения городов и сел Крыма.

ПХГ относятся к экологически опасным объектам, разрушение или повреждение которых от сейсмических воздействий может привести к серьезным экономическим и экологическим последствиям не только местного, но и республиканского масштаба. В этой связи, актуальной является задача слежения за динамикой сейсмических процессов, как регионального уровня, так и локального,

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

---

связанного с активизацией более мелких геологических структур под воздействием техногенных нагрузок для оценки сейсмической опасности и прогноза ее развития на ближайшее время.

Существующая сеть стационарных сейсмостанций Крыма, расположенная в основном в южной и юго-восточной части полуострова, не обеспечивает надежную регистрацию слабых подземных толчков в северо-западном районе Крыма, наиболее удаленном от региональной сети сейсмических станций. Кроме того, одностороннее расположение станций по отношению к рассматриваемому району, не обеспечивает необходимую точность определения параметров гипоцентров, происходящих здесь землетрясений.

Особым событием, послужившим поводом обратить пристальное внимание на состояние сейсмической обстановки в Западном Крыму, стала активизация сейсмичности в 2008 г., когда на Тарханкутском полуострове вблизи Глебовского ПХГ с 11 по 17 октября 2008 г. произошло три землетрясения с энергетическим классом  $K_{\Gamma} = 6.8-7.8$  (табл. 3). Очаги двух из них 16 и 17 октября были приурочены непосредственно к зоне ПХГ (эпицентрального расстояния 10 км).

Для мониторинга возможной наведенной (триггерной) сейсмичности в районе экологически опасного объекта ПХГ возникла необходимость организовать локальную сеть высокочувствительных сейсмических станций для регистрации слабых толчков, которые находятся вне зоны дальности регистрации региональными станциями Крыма. Для независимого и надежного определения основных параметров землетрясений (времени в очаге, географических координат, глубины очага, выделенной энергии) таких станций должно быть не менее четырех, оптимально расположенных по отношению к изучаемому объекту.

К настоящему времени в этом районе установлены две сейсмические станции «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ 2). Организация и проведение наблюдений осуществляется ГАУ «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности» (ГАУ «КЭС») — ныне ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»), совместно с Институтом сейсмологии и геодинамики ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (ИСГ КФУ).

Описанию условий расположения станций «Тарханкут» и «Донузлав-2» и анализу первых полученных на них результатов посвящена настоящая работа.

### **1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА**

В тектоническом строении Тарханкутского полуострова присутствуют две крупные геологические структуры: первая — Восточноевропейская платформа и вторая — Скифская плита [2].

Первая структура представлена южной погружённой частью Украинского щита его внешними уступами, на которые наложилась Причерноморская впадина. Вторая крупная тектоническая структура — Скифская плита, с приподнятой структурой

I порядка — Центральнокрымским поднятием и её составной частью структурой II порядка — Тарханкутско-Новосёловским поднятием (рис. 1).

Граница между двумя крупными структурами проходит по осевой части Причерноморской впадины.

Как видно из рис. 1, на рассматриваемой территории выявлены разрывные нарушения, которые проявились в позднеальпийский тектонический этап, раннекиммерийские разломы, такие, как Северотарханкутский, Сулинско-Крымский и Донузлавский, а также Евпаторийско-Скадовский глубинный разлом рифейского фундамента. Часть из этих разломов проявила сейсмотектоническую активность в новейшее время в виде относительно слабых землетрясений (см. ниже рис. 1).

Геологическое строение Тарханкутского полуострова состоит из пород протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя с большим разнообразием физико-механических характеристик пород и неравномерностью их пространственного распределения.

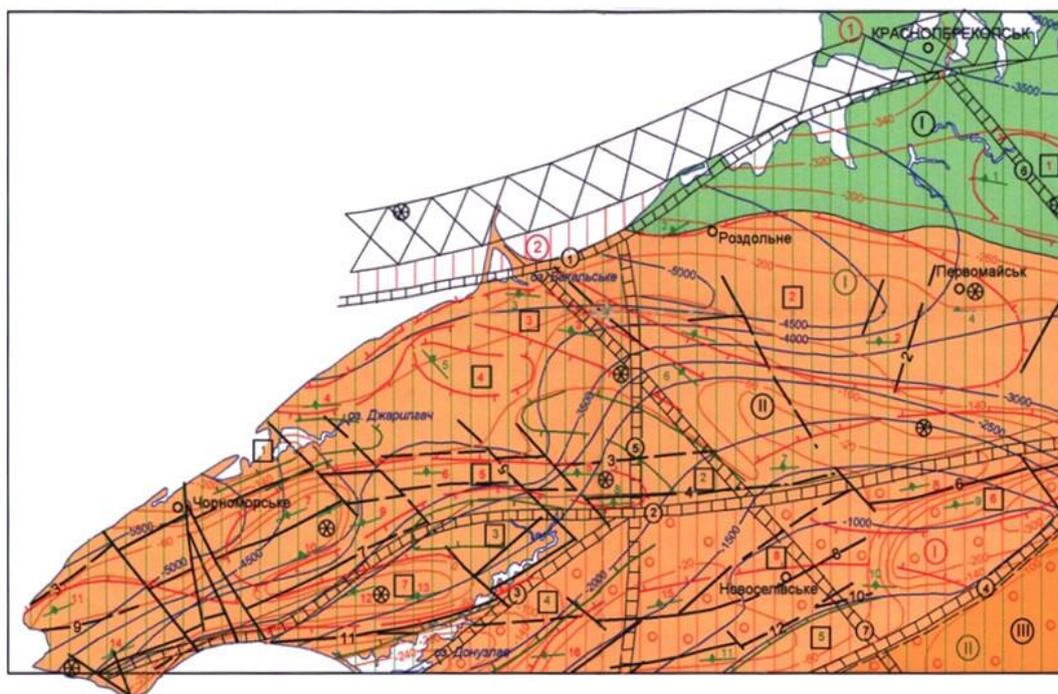


Рис. 1. Тектоническая схема Тарханкутского полуострова [2].

# ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Структурный этаж	Структурный ярус	Структурные элементы			
		I порядка	II порядка	III порядка	IV порядка
ВЕРХНИЙ К <sub>1</sub> -Q	ВЕРХНЕАЛЬПИЙСКИЙ N <sub>1</sub> -Q	 Причерноморская впадина	 Северо-Крымский прогиб	Антиклинальные зоны в мезозойско- кайнозойских отложениях 3 Межводненско- Березовская 4 Задорненская 5 Карлаво- Красноярская 7 Оленовско- Донузлавская Синклинальные зоны в мезозойско- кайнозойских отложениях 3 Дозорненская 4 Донузлавская	Локальные структуры, что проявились в позднекайнозойский этап 3 Рылеевская 4 Межводненская 5 Задорненская 6 Кировская 7 Карлавская 9 Глебовская 10 Краснополянская 11 Оленевская 12 Западнооктябрьская 13 Октябрьская 14 Меловая 15 Елизаветненская 16 Порфиревская
		 Центральнокрымское подняtie	 Тарханкут- Новосёловское подняtie		
	НИЖНЕАЛЬПИЙСКИЙ K <sub>1</sub> -N <sub>1</sub>	 Причерноморская впадина	 Северо-Крымский меловой рифтоген		
		 Центральнокрымское подняtie	 Новосёловское подняtie		

### СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

 I порядка

 III порядка  
Антиклинальных  
зон

 III порядка  
Синклинальных  
зон

**РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ, КОТОРЫЕ ПРОЯВИЛИСЬ  
В ПОЗДНЕАЛЬПИЙСКИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ЭТАП**



a)  
б)

а) - достоверные, б) - вероятные  
3-Задорненский; 5-Задорненско-Встречный; 9-Архангельский; 11-Октябрьский

**РАННЕКИММЕРИЙСКИЕ РАЗЛОМЫ**



1  
2

1-Северотарханкутский; 2 - Сулинско-Крымский; 3 - Донузлавский

**ГЛУБИННЫЕ РАЗЛОМЫ РИФЕЙСКОГО ФУНДАМЕНТА**



5

5-Евпаторийско-Скадовский

**ШОВНАЯ ЗОНА СОЧЛЕНЕНИЯ ДОРИФЕЙСКОГО ФУНДАМЕНТА  
УКРАИНСКОГО ЩИТА И СКИФСКОЙ ПЛИТЫ**

**ДРУГИЕ ЗНАКИ**

 Погребённый выступ и краевые горстовые поднятия докембрийского фундамента

 Голицынско-Бакальский кристаллический порог Скифской плиты

 -100- Изогипсы дочокракской поверхности

 - Изогипсы домеловой поверхности

 +2- Оси позитивных структур верхнего структурного этажа

 Меловые вулканы

В верхней 30-метровой толще, учитываемой при характеристике инженерно-геологических свойств грунтов, встречены среднемиоценовые породы херсонской свиты и верхнемиоценовые породы багеровской и акмонайской свит. Херсонская свита представлена: известняками от светло-серых до тёмно-серых, ракушечниковыми или детритово-ракушечниковыми тёмно-серыми глинами с прослоями до 0.2 м. Для Багеровской свиты, характерны два основных литологических типа: известняки, которые являются преобладающими, и глины. Известняки тёмно-серые, серые, коричнево-серые детритово-оолитовые или детритовые. Глины буровато-серые, серые или тёмно-серые, известковистые, плотные с многочисленным детритом раковин. Акмонайская свита, представлена глинистыми известняками оолитовыми, оолитово-детритовыми, раковинно-детритовыми, серыми с прослоями коричневых глин. Общая мощность отложений данных свит составляет около 120 м.

Предварительный анализ инженерно-геологических условий и свойств горных пород показал возможность размещения в рассматриваемом районе сейсмических станций с высокой чувствительностью к слабым сейсмическим колебаниям.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТАРХАНКУТСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Выбор новых пунктов наблюдений, начатый в 2011 году ГАУ «КЭС», включал поиск мест, потенциально удовлетворяющих требованиям высокоточных сейсмологических наблюдений, и состоял из трех этапов: 1 — теоретический выбор пунктов, удовлетворяющий максимальной площади области представительности и структурно-геологическому строению; 2 — регистрация микросейсм и выбор мест с наименьшим уровнем микросейсмического шума; 3 — проведение временных наблюдений на выбранных пунктах для оценки перспективности организации в данном месте непрерывных стационарных наблюдений.

В результате подготовительных работ и специальных исследований были выбраны два пункта: в районе мыса Тарханкут (село Оленевка) и вблизи озера Донузлав (село Веселовка) [3, 4].

**Тарханкут, с. Оленевка Черноморского р-на.** Выбор пункта расположения сейсмических станций определяется особенностями геологического строения среды под сейсмической станцией. В геологическом плане этот пункт находится на стыке трёх свит нижнего неогена: Акмонайской (верхняя часть меотического региояруса), Багеровской (нижняя часть меотического региояруса) и Херсонской (верхняя часть Сарматского региояруса).

По архивным данным «КрымГИИНТИЗ» [5, 6 и др.] непосредственно в с. Оленёвка до глубины 8–15 м встречены: Акмонайская свита с изменяющейся мощностью  $H$  от 1.6 до 2 м, с плотностью пород  $\rho = 1.64\text{--}1.93 \text{ г/см}^3$  и пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma = 2.02$  до 9.68 МПа; Багеровская свита —  $H = 2\text{--}3$  м, плотность  $\rho = 1.255\text{--}2.341 \text{ г/см}^3$ ,  $\sigma$  от 0.57 до 21.6 МПа и Херсонская —  $H = 8\text{--}10$  м,  $\rho = 1.149\text{--}2.413 \text{ г/см}^3$ , предел прочности  $\rho$  варьирует от 0.50 до 22.3 МПа. Все свиты представлены исключительно достаточно прочными известняками [5, 6 и др.].

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

Регистрация микросейсмических шумов проводилась в 2011 г. цифровым регистратором UK11 с сейсмоприемником СК-1П в нескольких альтернативных точках [3]. В результате анализа спектра помех выбран пункт, расположенный на окраине села Оленевка с наименьшим уровнем микросейсмического фона в диапазоне частот от 2 до 20 Гц, который оказался на порядок ниже уровня микросейсм на центральной сейсмической станции «Симферополь».

Предварительные результаты интерпретации волновых форм, зарегистрированных за период временных наблюдений в данном пункте местных и близких землетрясений, позволил сделать вывод об удовлетворительных условиях регистрации и возможности организации сейсмологических наблюдений на постоянной стационарной основе.

Непрерывные наблюдения на станции «Тарханкут» (с Международным кодом TARU) в с. Оленевка начались 11 июля 2012 г. [7]. Сейсмические датчики установлены в подвальном помещении (на глубине 2 метра) частного домовладения на ул. Комсомольской, 50. Географические координаты пункта:  $\varphi = 45^{\circ}.38\text{ N}$ ,  $\lambda = 32^{\circ}.53\text{ E}$ .

Первоначально регистрация сейсмических событий проводилась автоматической цифровой сейсмологической станцией (АЦСС) М121, приобретенной КРП «КЭС». В связи с финансовыми трудностями обеспечения выездных ремонтных работ наблюдения с 27 февраля 2015 г. на этом пункте были временно прекращены. Работа станции «Тарханкут» была восстановлена только 7 июля 2017 г. [8] на новом качественном уровне с использованием современной цифровой станции ЦРСС «Байкал» с широким динамическим диапазоном (рис. 2, а).

**«Донузлав-2», с. Веселовка Сакского района.** В 2013 году были проведены экспедиционные работы по выбору дополнительных пунктов размещения сейсмических станций для мониторинга сейсмичности в западном Крыму в четырех пунктах: Сары-Баш, Ковыльное, Черноморское и Веселовка [4]. В результате приоритет был отдан пункту в с. Веселовка с малым уровнем микросейсмического шума, благоприятными инженерно-геологическими условиями и оптимальным географическим расположением пункта по отношению к изучаемому району.

Село Веселовка, расположенное вблизи озера Донузлав, в геологическом плане находится в районе распространения Акманайской свиты (верхняя часть Меотического региояруса). По данным «КрымГИИНТИЗ» [9, 10 и др.] мощность Акманайской свиты в этом районе колеблется от 1.2 до 5.2 м и представлена органогенными ракушечниковыми светло-жёлтыми и жёлтыми известняками с плотностью  $\rho = 1.88\text{--}2.04\text{ г/см}^3$  и пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma = 0.52\text{--}12.7\text{ МПа}$ . Под известняками Акманайской свиты сначала залегают сверху известняки, а ниже глины Багеровской свиты (нижняя часть меотического региояруса). Известняки Багеровской свиты — органогенные, светло-серые, с изменяющейся мощностью  $H$  от 1.4 до 2.5 м, с плотностью  $\rho = 1.94\text{--}2.46\text{ г/см}^3$  и  $\sigma = 10.6\text{ до }14.9\text{ МПа}$ . Глины Багеровской свиты красновато-коричневые, с включением обломков известняка и раковин моллюсков имеют мощность  $H = 1.6\text{--}2.2\text{ м}$ , плотность  $\rho = 1.82\text{--}1.97\text{ г/см}^3$  и  $\sigma = 16\text{ до }21\text{ МПа}$ . Ниже Багеровской свиты залегают Херсонская свита (верхняя часть Сарматского региояруса), представленная до глубины 25 м

серыми и желтовато-серыми известняками с прослоями зеленовато-серых глин с  $\rho = 1.52\text{--}2.37 \text{ г/см}^3$  и  $\sigma$  от 1.0 до 24.1 МПа. До глубины 25 м природных подземных вод не встречено [9–10 и др.]. К сожалению, непосредственно в районе выбранного пункта инженерно-геологических изысканий не проводилось.

Опытная регистрация на новой станции «Веселовка» с координатами:  $\varphi = 45.37^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 33.21^\circ \text{ E}$ ;  $h = 52 \text{ м}$  проводилась в период с 20 августа 2014 г. и до конца 2014 г. цифровой станцией с сейсмометром СК-1П (базовое название станции UK15) [11]. По техническим причинам с начала 2015 г. регистрация на пункте была временно прекращена, несмотря на удачный выбор месторасположения станции.

После длительного перерыва наблюдения на станции «Веселовка» были возобновлены 26 июля 2018 года [12] с регистрацией сейсмических колебаний современной широкополосной аппаратурой ЦРСС «Байкал» (рис. 2, б). Поскольку ранее в этом районе (вблизи озера Донузлав) с 1983 по 1993 г. находился скважинный пункт высокочувствительных наблюдений «Донузлав», а затем в период 1998–2002 гг. — наземный пункт «Донузлав» [13], то станцию «Веселовка» было решено для преемственности и географической привязки переименовать, зарегистрировав, как «Донузлав -2» с Международным кодом DNZ 2.

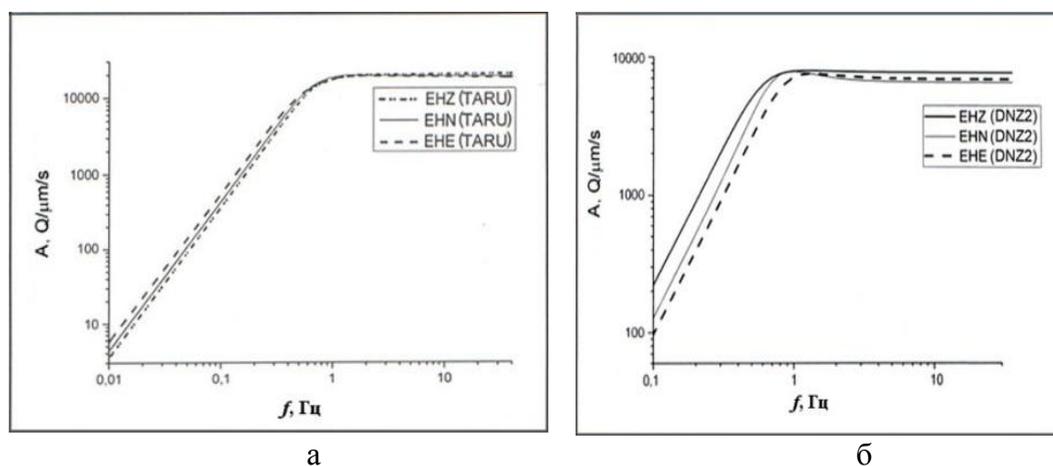


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики короткопериодных ЕН-каналов регистратора «БАЙКАЛ-8» на сейсмических станциях «Тарханкут» (TARU) (а) и «Донузлав» (DNZ 2) (б) в 2018 г. [12].

Таким образом, в настоящее время новые станции в северо-восточной части Крыма «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ 2), оборудованы современной широкополосной аппаратурой ЦРСС «Байкал-8» [14], позволяющей регистрировать землетрясения в широком энергетическом диапазоне.

По частотному и динамическому диапазону амплитудно-частотные характеристики на станциях TARU и DNZ 2 близки между собой и соответствуют таковым по ЕН-каналам на других региональных станциях Крыма [12].

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

При этом, как видно из рис. 2 чувствительность на станции TARU по всем составляющим записи почти в 2.5 раза выше, чем на DNZ2. Цифровые регистраторы ЦРСС «Байкал-8» принадлежат ГАУ «КРЦ», обслуживание станций производится совместно ГАУ «КРЦ» и ИСГ КФУ.

### 3. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ «ТАРХАНКУТ» И «ДОНУЗЛАВ-2»

За период с 2018 г. по июнь 2020 г. на сейсмических станциях «Тарханкут» и «Донузлав-2» зарегистрировано 143 местных и 405 землетрясений ближней зоны до расстояний 1 000 км и составлена соответствующая база данных. Анализ эффективности, станционных возможностей надежно регистрировать сейсмические колебания проведем только на примере местных землетрясений Крымско-Черноморского региона до эпицентральных расстояний 400 км.

Одними из главных параметров, определяющих эффективность, **чувствительность сейсмической станции** являются дальность регистрации землетрясений заданного энергетического уровня и представительность, т.е. возможность без пропуска регистрировать минимальное по энергии землетрясение на максимальном расстоянии. Эти параметры определяются по графикам зависимости энергетических классов или магнитуд от эпицентральных расстояний, на которых они зарегистрированы.

На рис. 3 представлены экспериментальные распределения станционных энергетических классов  $K_{II}$  [15] и  $KD$  [16] в зависимости от эпицентральных расстояний  $D$  на сейсмических станциях «Тарханкут» и «Донузлав-2». Для определения  $K_{II}$  использована номограмма для станции «Симферополь», а по длительности ( $KD$ ) — формула для станции «Алушта», близкая к средней для Крыма.

При аппроксимации предельного контура дальности регистрации не были учтены точки с грубыми «выбросами» в станционных значениях энергетических классов для очень слабых землетрясений.

Предварительно можно сделать вывод о высокой чувствительности обеих сейсмических станций и возможности надежно регистрировать землетрясения с  $K_{II} \geq 9$  для всего региона на расстояниях до 400 км и слабые толчки северо-западного района с  $K_{II} \geq 6$  в радиусе до 120 км (рис. 3, а, в). При этом предельная дальность регистрации увеличивается почти на 50 км. В то же время аппроксимирующие графики 1 и 2 на рис. 3 б, г по длительности колебаний заметно отличаются от аналогичных графиков  $K_{II}$  ( $D$ ). Это возможно связано с менее надежной фиксацией окончания записи землетрясения на фоне помех и определения полной длительности колебаний и, как следствие, с погрешностями в оценках энергетических классов  $KD$ .

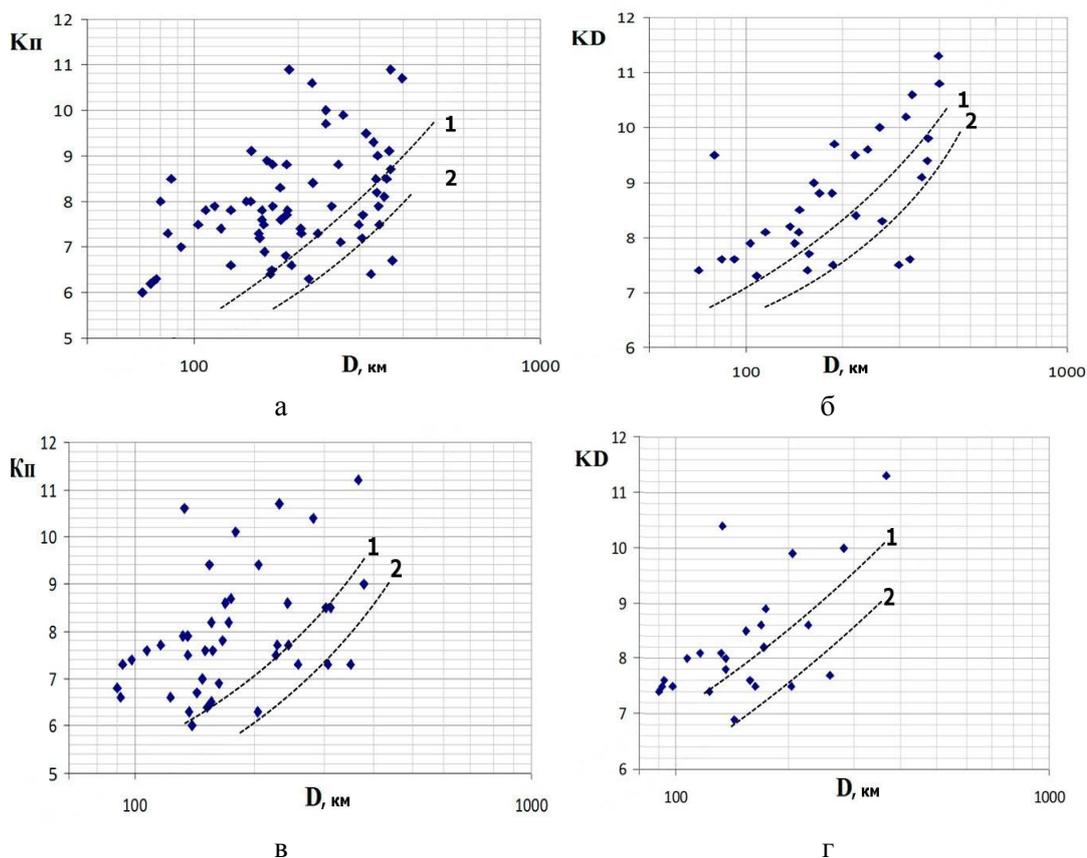


Рис. 3. Распределение энергетических классов  $K$  в зависимости от эпицентральных расстояний  $D$  (в км) на станциях: а, б — TARU, соответственно,  $K_{п}$ ,  $KD$ ; в, г — DNZ 2, соответственно,  $K_{п}$ ,  $KD$ . Графики: 1 — представительность землетрясений; 2 — предельный контур дальности регистрации.

**Представлением об эффективности** станции может служить отношение количества надежно зарегистрированных землетрясений на станции  $N_c$  к общему количеству  $N$  зарегистрированных всей сетью [17]. Для сети станций функционирующих в настоящее время, территория северо-запада Крымского региона охвачена представительными землетрясениями  $K_{п} \geq 9$  и большая ее часть с  $K_{п} \geq 8$  [12]. Приведем отношения  $N_c/N$  для землетрясений 2018 г. (табл. 1).

Всего за 2018 год во всем Крымско-Черноморском регионе зарегистрировано  $N = 100$  событий в диапазоне  $K_{п} = 4-11$ , из них 11 представительных с  $K_{п} \geq 9$  и 35 — с  $K_{п} \geq 8$  [12]. На станции «Тарханкут»  $N_c = 49$ , в том числе 11 с  $K_{п} \geq 9$  и 23 с  $K_{п} \geq 8$ . Эффективность работы станции по отношению к представительным землетрясениям  $N_c/N$  составила 100%.

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА**

Таблица 1.

Сравнительные характеристики эффективности работы станций

$K_{п}$	$N$ (Регион)	$N_c$ (TARU)	$N_c/N, \%$ (TARU)	$N$ (Регион, 5 мес.)	$N_c$ (DNZ2),	$N_c/N, \%$ (DNZ2),
4–11	100	49	<b>49</b>	45	15	<b>33</b>
$\geq 8$	35	23	<b>66</b>	19	11	<b>58</b>
$\geq 9$	11	11	<b>100</b>	4	3	<b>75</b>

Станция «Донузлав», работа которой началась только 26 июля 2018 г., за оставшиеся 5 месяцев 2018 г. зарегистрировала  $N_c = 15$  из общих  $N = 45$ , из них 11 событий с  $K_{п} \geq 8$  и 3 — с  $K_{п} \geq 9$ . По техническим причинам, в начальный установочный период, пропущенным оказалось землетрясение 20 августа с  $K_{п} = 9.5$  из Керченско-Анапского района, что снизило показатель  $N_c/N$  до 75%.

Таким образом, можно отметить достаточно высокую эффективность работы обеих станций, как по отношению к представительным землетрясениям, так и более слабым.

**Точность определения координат гипоцентра** землетрясений зависит не только от точности определения времен вступления сейсмических волн на станциях, но и от надежного определения времени возникновения землетрясения. Основным способом для этого служат графики Вадати – линейная связь между величинами  $tp = a + b(ts - tp)$ , где  $tp$ ,  $ts$  — времена пробега волн  $Pg$  и  $Sg$  соответственно,  $a = t_0$  — искомое время возникновения землетрясения. Чем теснее корреляционная связь между этими параметрами, тем точнее определяется  $t_0$ .

В качестве примера на рис. 4 приведен график Вадати для ощутимого землетрясения 13 сентября 2018 г. с  $K_{п} = 10.5$ .

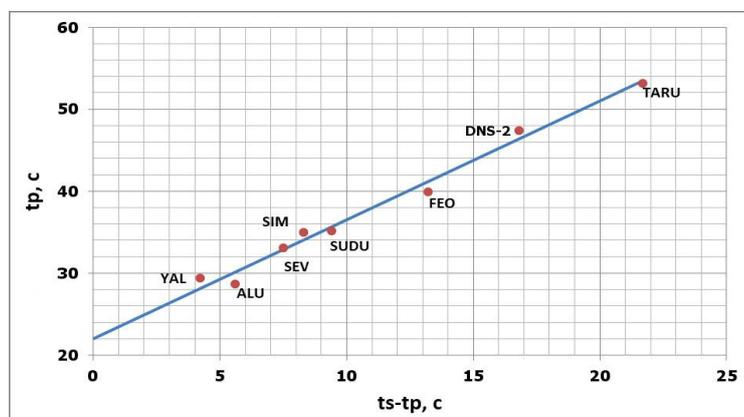


Рис. 4. График Вадати для землетрясения 13 сентября 2018 г. с  $K_{п} = 10.5$ .

Практически все точки на графике (рис. 4), включая станции «Донузлав» (DNZ 2) и «Тарханкут» (TARU) укладываются на прямую линию, полученную

методом ортогональной регрессии с высоким коэффициентом корреляции. Использование более удаленных от эпицентра станций DNZ2 и TARU увеличило диапазон экспериментальных данных, влияющих на точность проведения аппроксимирующей прямой и, соответственно, на точность определения времени в очаге  $t_0$ .

**Зависимости времен пробега** прямых  $Pg$ - и головных  $Pn$ - волн от эпицентральных расстояний  $D$  для станций «Тарханкут» и «Донузлав-2» показаны на рис. 5. Здесь можно отметить то, что времена пробега брались для всех землетрясений за 2018–2019 гг. без разделения по глубинам очагов ввиду ограниченной статистики.

В связи с этим было интересно сравнить графики в интервалах теоретических годографов  $Pg$ - и  $Pn$ - волн [18] для глубин в пределах земной коры от 5 до 40 км.

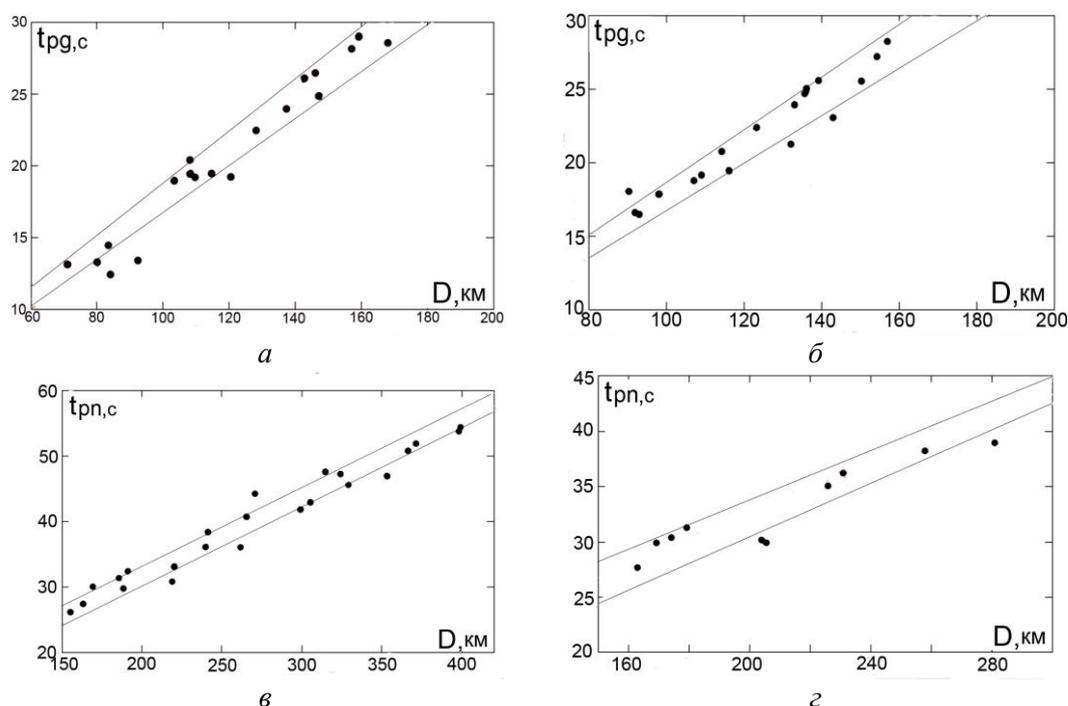


Рис. 5. Зависимость времен пробега  $t_{pg}$ - и  $t_{pn}$ - волн от эпицентрального расстояния  $D$ . Сейсмические станции: а, в — «Тарханкут», б, г — «Донузлав-2». Прямые линии: верхние и нижние границы годографов соответствующих волн по [18].

Из рис. 5 видно, что большинство экспериментальных станционных данных (точек на графике) попадают в интервалы теоретических годографов  $Pg$ - и  $Pn$ - волн. Однако наблюдаются и значительные отклонения от интервалов расчетных годографов. Анализ таких отклонений показал, что они относятся либо к сомнительным фазам (например, на рис. 5 а точка  $D = 92 км$ ,  $t_{pg} = 13.4 с$ , фаза  $e$  ( $Pg$ )), либо к неидентифицированным

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

фазам (рис. 5 б, точка  $D = 90$  км,  $tpg = 18.1$  с, фаза  $e$ ). Для головных волн  $Pn$  отклонения от интервала расчетных годографов, возможно, связаны с плохой разрешимостью фаз на записях близких землетрясений с эпицентрными расстояниями 200–400 км.

Был также проведен предварительный **анализ оценки энергетических классов  $K_{II}$  и  $KD$**  на пунктах «Тарханкут» и «Донузлав-2». Построены гистограммы отклонений энергетических классов на станциях относительно средних значений, определенных по сети станций Крыма. Из-за малой статистики гистограммы строились со смещением в половину выбранного интервала, увеличив, таким образом, вдвое использованное количество данных (рис. 6).

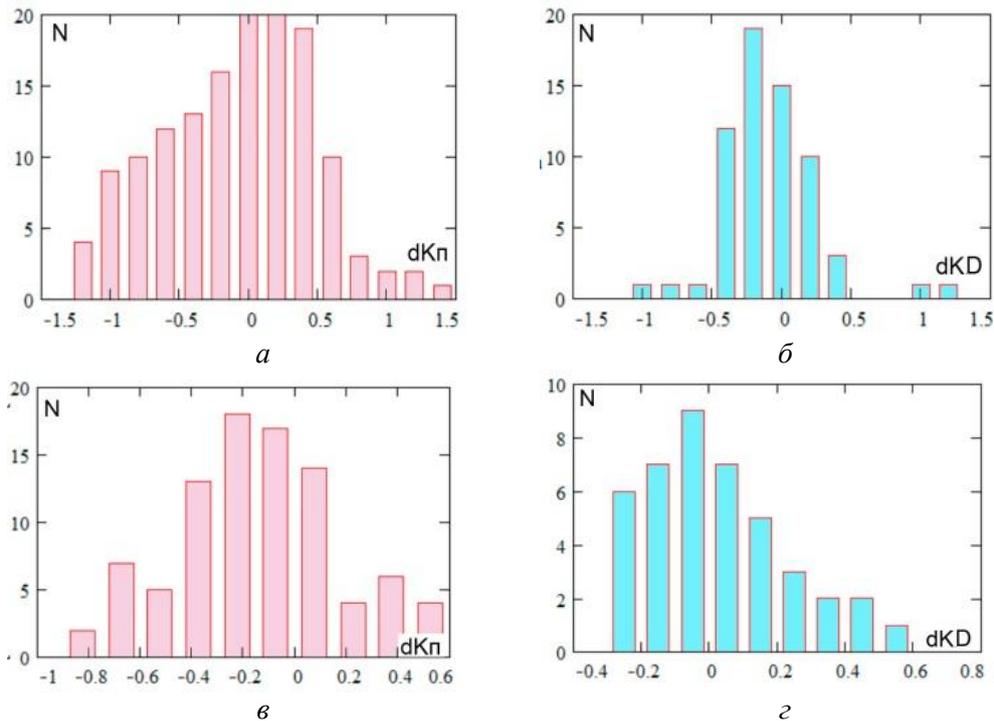


Рис. 6. Гистограммы отклонений энергетических классов  $K_{II}$  и  $KD$ , определенных по сейсмическим станциям: «Тарханкут» ( $a$ ,  $б$ ) и «Донузлав-2» ( $в$ ,  $г$ ) относительно среднего значения  $K_{II}$  и  $KD$  по группе станций Крыма.

Заметны отклонения максимумов гистограмм относительно нулевой отметки. Наиболее отчетливы отклонения для пункта DNZ 2. Здесь максимум смещен на  $-0.2$  (по данным  $K_{II}$ ) и примерно на  $-0.1$  (по данным  $KD$ ). Кроме асимметричности представленных гистограмм, можно отметить разброс определений энергетических классов относительно максимума гистограмм на  $\pm 1.5$  на TARU и  $\pm 0.5$  на пункте DNZ 2 (по классам  $K_{II}$ ). Ввиду малого количества таких отклонений, определить источники аномалий пока не представляется возможным.

Оба вида энергетических характеристик  $K_{\Pi}$  и  $KD$  коррелируют между собой и уравнения их связи по станциям TARU на DNZ 2 практически одинаковы (в пределах погрешностей) (рис. 7).

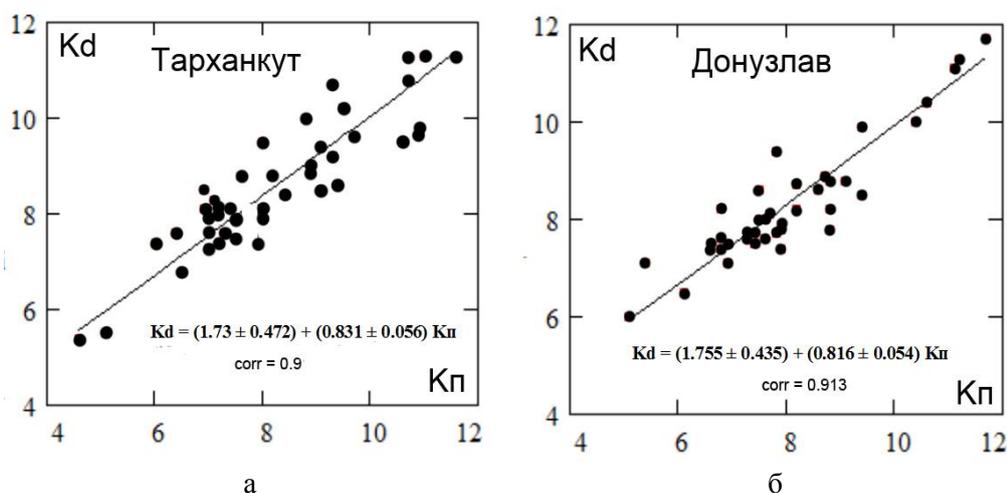


Рис. 7. Соотношения между энергетическими классами по максимальной скорости колебаний в поперечной волне [15] и по длительности колебаний [16].

При тесной корреляционной связи двух видов стационарных энергетических характеристик получен большой разброс их индивидуальных значений, достигающий двух порядков (рис. 7). Возможно, это связано не только со стационарными грунтовыми условиями, по-разному усиливающими или ослабляющими амплитуды колебаний разных типов волн, но и с «зашумленностью» полезного сигнала на фоне помех при цифровом способе регистрации. Кроме того, в настоящее время, в отсутствие стационарных калибровочных кривых или стационарных поправок, для новых станций используются номограммы, разработанные для других станций [15].

Качество интерпретации записей землетрясений определяется особенностями спектрального состава помех. На рис. 8, 9 представлены спектры помех на станциях «Тарханкут» и «Донузлав-2». Помехи выбирались на записях в интервале, содержащих  $2^n$  дискретных отсчетов времени.

**Анализ спектров** (рис. 8, 9) показывает, что на станциях «Тарханкут» и «Донузлав-2» наиболее интенсивными являются колебания в помехах на частотах близких  $0.2-1.2 \text{ Гц}$ . Частоты полезных сигналов (сейсмических колебаний от местных землетрясений) находятся в интервале преобладающих частот ( $2-5 \text{ Гц}$ ) ( $0.2-0.5 \text{ с}$ ) на этих станциях. Таким образом, полезный интервал частот лежит за пределами преобладающих частот помех. Это дает возможность достаточно надежно выделять сигнал, используя полосовые фильтры. При анализе сейсмограмм с амплитудами сейсмических колебаний, близкими к амплитудам помех, выделение

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

полезного сигнала весьма затруднено и требуется разработка специальных цифровых фильтров, подавляющие помехи на этих частотах.

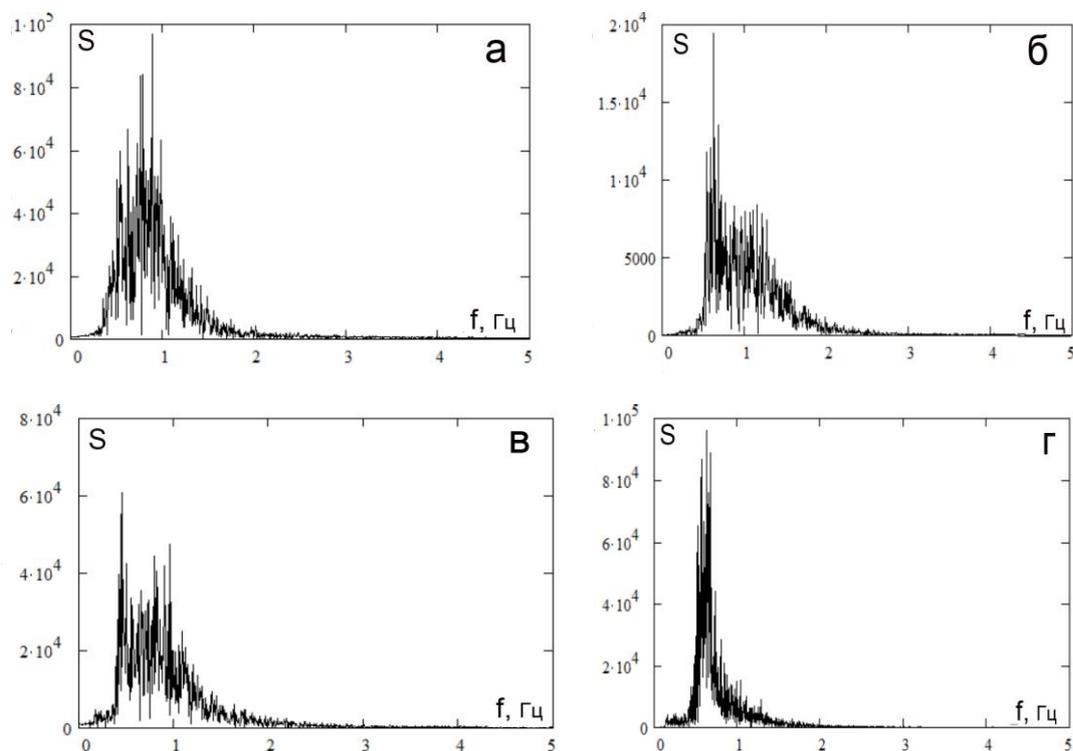


Рис. 8. Амплитудные спектры помех на сейсмической станции «Тарханкут» (TARU): **а** — 23 сентября 2019 г. 13 ч. 46 мин.; **б** — 31 июля 2020 г. 00 ч. 24 мин.; **в** — 15 марта 2020 г. 05 ч. 36 мин.; **г** — 5 января 2020 г. 3 ч. 47 мин.

На станции «Донузлав-2» на всех исследуемых спектрах помех (рис. 9) выделяются максимумы на высоких частотах в интервале 10–15 Гц. Природа помех пока неясна. Частотный диапазон этих помех лежит далеко за пределами частот сейсмических колебаний, поэтому их вклад в волновые формы и влияние на процесс фильтрации невелик.

Следует заметить, что полученные данные о помехах в записях сейсмограмм предварительные. Структура спектров помех может быть более сложной, учитывая то, что станции находятся вблизи морских водоемов, генерирующих в различное время нестационарные помехи.

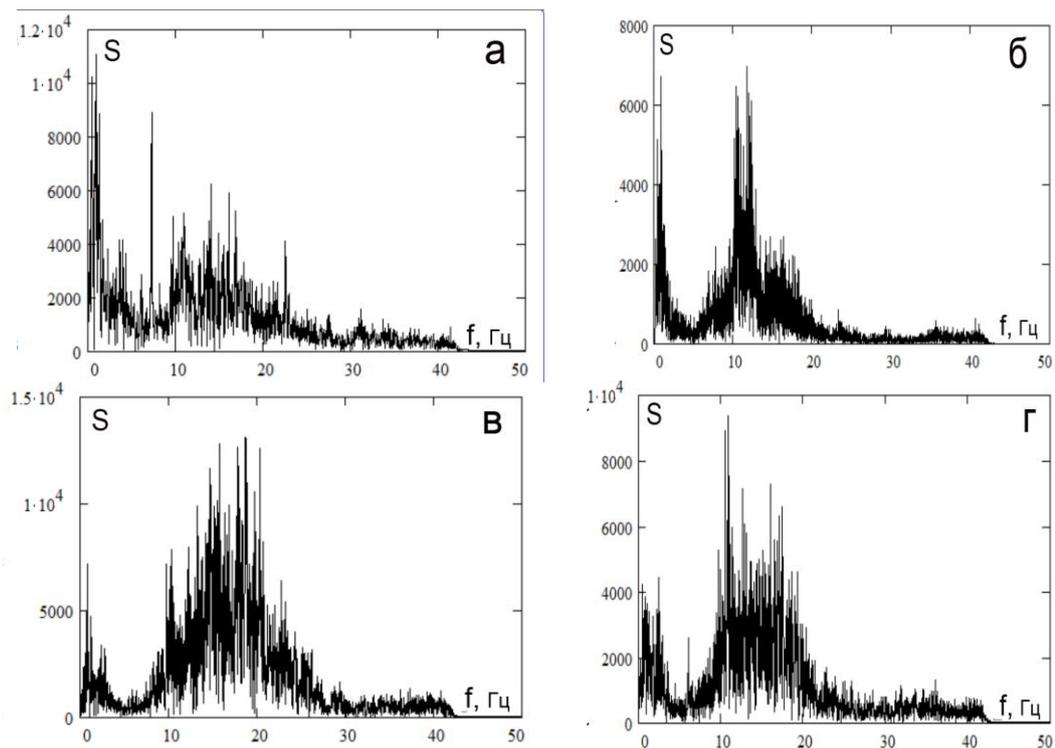
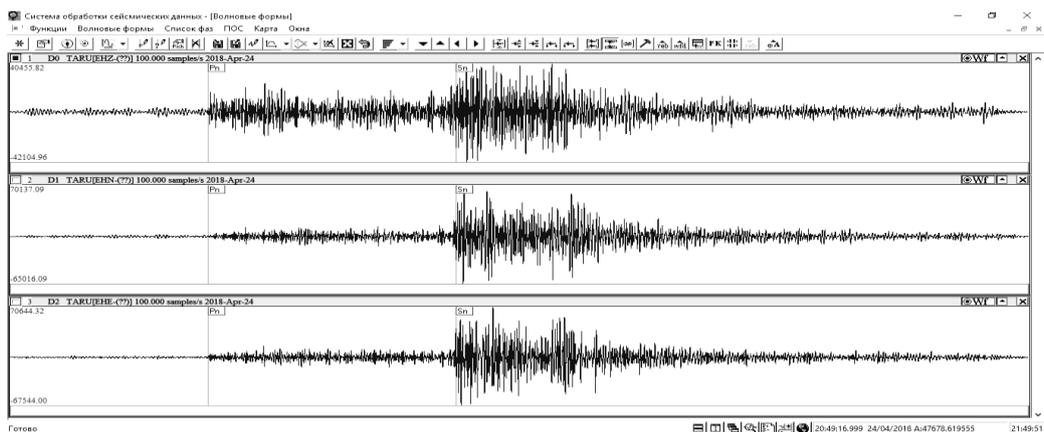


Рис. 9. Амплитудные спектры помех на сейсмической станции «Донузлав-2» (DNZ 2): **а** — 08 апреля 2020 г. 12 ч 12 мин.; **б** — 27 апреля 2020 г. 19 ч 33 мин.; **в** — 26 мая 2020 г. 15 ч 46 мин.; **г** — 21 апреля 2020 г. 11 ч 28 мин.

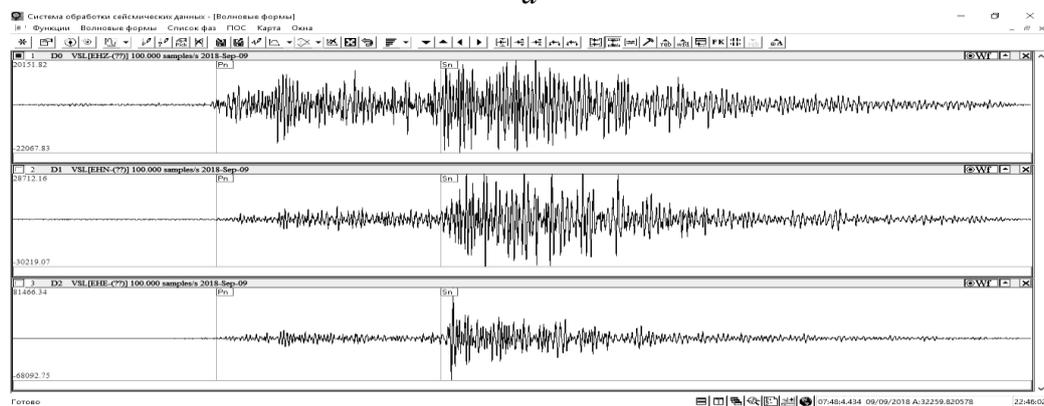
Изучение микросейсмического шума необходимо продолжить на достаточно представительном материале для выявления общих свойств и временных вариаций в различное время года и суток, а также непосредственно перед записью землетрясений. Это поможет более корректно подобрать фильтр для выделения момента вступления сейсмических волн и исключить или уменьшить вклад помех в их амплитудно-частотный состав.

Записи, полученные на новых станциях, начали успешно применяться для **восстановления динамических параметров очагов** местных землетрясений за 2018 г. [19] и 2019 гг. Для этого отобраны сейсмограммы, отвечающие всем критериям качества, разработанным для получения спектров Фурье. На рис. 10 приведены примеры записей землетрясений, использованные для расчета амплитудных спектров и определения по их характеристикам (спектральной плотности и угловой частоте) динамических параметров очагов.

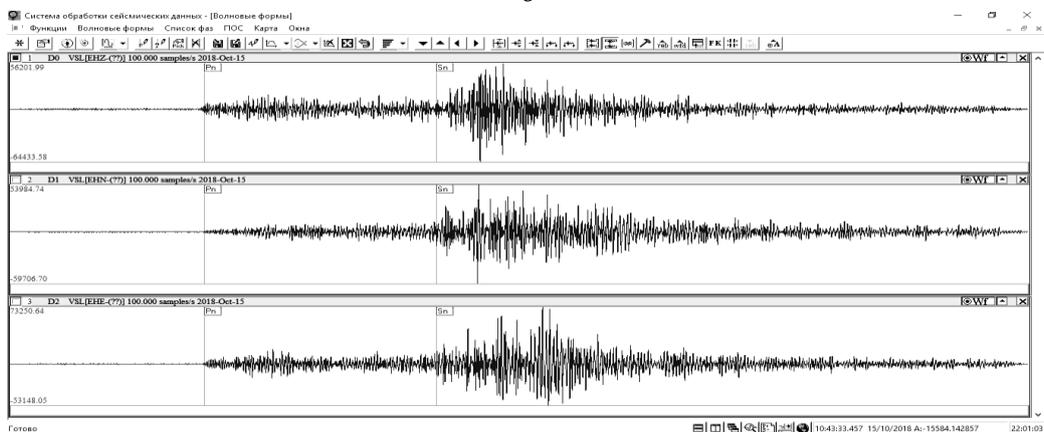
# ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА



*a*



*б*



*в*

Рис. 10. Примеры записей землетрясений 2018 г.: *a* — 24 апреля 2018 г. на станции TARU; *б, в* — 9 сентября и 15 октября на станции DNZ 2, соответственно.

Полученные амплитудные спектры (рис. 11) надежно аппроксимируются в рамках теоретической дислокационной модели Бруна [20], применяемой в Крыму для восстановления очаговых параметров [21].

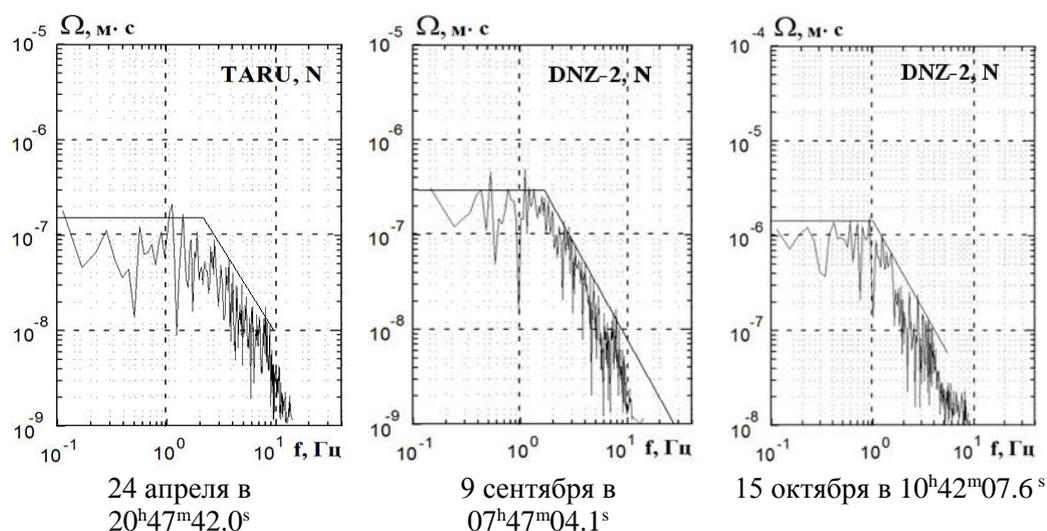


Рис. 11. Примеры амплитудных спектров поперечных сейсмических волн землетрясений 2018 г.: 24 апреля, 9 сентября и 15 октября по записям сейсмических станций «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав» (DNZ-2) по горизонтальной компоненте N-Е. Прямые линии на спектрах — аппроксимация экспериментальных данных в рамках теоретической модели Бруна [20].

В результате получены индивидуальные станционные значения по станциям «Донузлав» и «Тарханкут», хорошо соответствующие средним значениям по группе станций Крыма [19]. В табл. 2 приведены значения только основных динамических параметров: сейсмического момента  $M_0$ , радиуса круговой дислокации  $r_0$  и моментной магнитуды  $M_w$ . Жирным шрифтом выделены средние значения по группе независимых  $N$  определений (по нескольким станциям и типам сейсмических волн).

Таблица 2.

Сравнительные характеристики станционных динамических параметров очагов землетрясений Крыма за 2018 г. и средних значений по группе станций

Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Код станции	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$r_0$ , км	$r_0$ , км	$M_w$	$M_w$	$K_{II}$
24.04.	20 47 42.0	TARU, S	69.5	<b>69.78</b>	0.64	<b>0.67</b>	3.83	<b>3.83</b>	<b>10.7</b>
09.09	07 47 04.1	DNZ2, P	44.9	<b>99.14</b>	0.88	<b>0.85</b>	3.7	<b>3.82</b>	<b>10.8</b>
09.09	07 47 04.1	DNZ2, S	69.9	<b>99.14</b>	0.91	<b>0.85</b>	3.83	<b>3.82</b>	<b>10.8</b>
15.10	10 42 07.6	DNZ2, S	247	<b>285</b>	1.14	<b>1.1</b>	4.2	<b>4.24</b>	<b>11.0</b>

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА**

Можно констатировать, что индивидуальные значения  $M_0$ ,  $r_0$  и магнитуды  $M_w$ , как по станции TARU, так и DNZ 2 близки к средним значениям, полученным по 6 (для землетрясения 09.09.2018 г.) и по 7 (для 24.04 и 15.10 2018 г.) независимым определениям. Остальные параметры также получились в хорошем согласии со средними значениями [19]. К сожалению, из-за повышенного уровня сейсмических помех, особенно во время штормов на море и озере Донузлав, записи на ст. TARU и DNZ 2 часто не соответствуют критериям качества для расчета по ним спектров, особенно для сравнительно слабых и удаленных землетрясений. В связи с этим актуальной остается задача детального изучения спектрального состава микросейсмического шума природного и техногенного характера, его изменения в пространстве-времени и выработке рекомендаций по подбору фильтров для корректного «очистки» полезного сигнала от помех.

**4. СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КРЫМА**

Сетью сейсмических станций за период с 1972 по 2020 г. в Крыму западнее  $34^\circ$  восточной долготы и севернее  $45^\circ$  северной широты было зарегистрировано 36 землетрясений с энергетическими классами  $K_{II}$  от 4.4 до 9.0 (табл. 3).

На карте-схеме (рис. 12) показаны эпицентры землетрясений западного Крыма с 1972 по 2014 г. с градацией по магнитудам и глубинам очагов и за период 1972 по 2020 г. с учетом зарегистрированных новыми станциями «Тарханкут» и «Донузлав».

Таблица 3.

Каталог землетрясений северо-западной части Крыма

Время возникновения землетрясения, $t_0$						Координаты эпицентра		Глубина очага $h$ , км	Энергетический класс $K_{II}$
год	месяц	число	час	мин	сек	$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ N$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1972	5	4	11	32	39	45.1	33.1	20	8
1977	11	3	23	27	3	45.6	33.8	5	8.3
1978	8	15	14	11	25	45.4	33.6	5	8
1978	8	15	15	50	0	45.3	33.5	5	8.1
1979	10	28	5	15	37	45.2	32.5	20	9
1982	8	29	2	32	56	45.4	33.5	15	7.7
1985	9	19	18	4	24	45	32.6	10	7.1
1988	4	13	20	41	10.5	45.18	33.22	19	7.7
2001	11	6	4	12	51.5	45.05	33.12	23	8.4
2007	2	6	0	16	0.4	45.46	33.78	14	6.8
2007	9	24	6	8	27	45.34	33.57	15	7.1
2008	3	17	20	10	1.6	45.15	32.92	20	6.8
2008*	4	12	13	20	43.8	45.08	32.54	6	7.8
2008	10	11	7	38	11.1	45.57	33.24	20	7.8
2008	10	16	22	13	16	45.45	32.81	20	7.5

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2008	10	17	11	59	33.3	45.45	32.81	20	6.8
2010	1	21	3	59	58.3	45.46	32.77	6	7.8
2010	4	10	13	44	43.8	45.4	32.65	20	7.7
2010	8	17	4	41	23	45.56	33.79	16	7.1
2010	10	26	14	30	44.7	45.51	32.76	2	7.7
2010	11	19	1	18	17	45.7	33.1	9	7.5
2011	3	16	20	42	48.1	45.24	33.4	20	7.5
2011	7	10	15	33	12.1	45.63	32.95	12	7.5
2011	7	24	3	22	51.4	45.65	33.19	20	7.6
2011	10	14	3	46	8	45.19	32.44	20	7.1
2012	4	28	19	13	44	45.65	33.47	6	8
2012	4	30	6	46	5.4	45.74	32.97	5	7.1
2012	4	30	23	5	40.6	45.73	33	7	6.7
2012	5	5	5	52	23.3	45.6	33.62	20	6.9
2012	7	11	12	32	31.5	45.75	32.91	6	8.1
2014	3	30	7	55	59.1	45.51	32.98	21	8.2
2014*	7	18	9	7	1.9	45.66	32.93	22	7
2020	1	4	19	3	46.6	45.48	32.88	23	4.4
2020	1	5	3	47	57.6	45.49	32.89	24	5
2020	4	8	12	12	42.7	45.47	32.89	25	7.8
2020	6	15	19	33	44.6	45.46	32.88	23	5.5

Примечание: \* — координаты уточнены с использованием нового годографа [18].

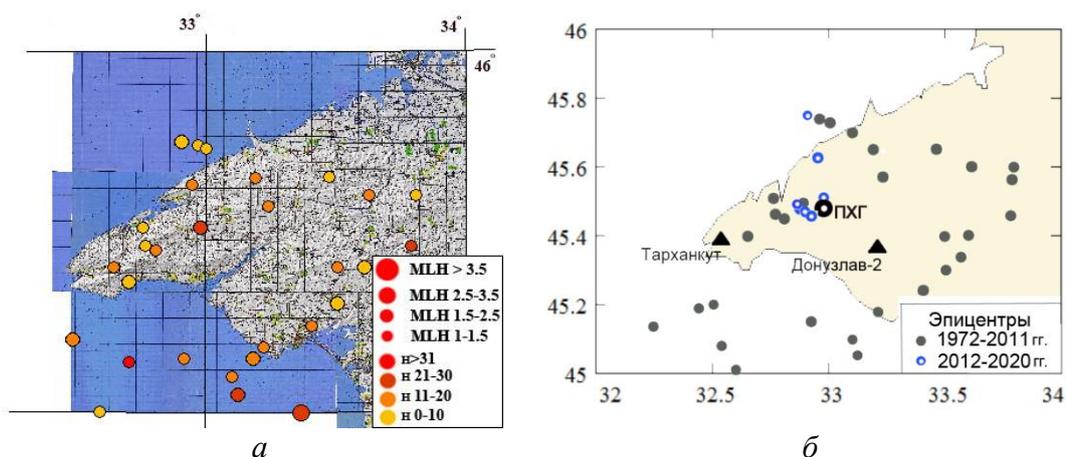


Рис. 12. Карты эпицентров западной части Крымского полуострова: *а* — с 1972 по 2014 г. с градацией по глубинам очагов и магнитудному уровню; *б* — за весь период с 1972 по 2020 г. Точки — эпицентры землетрясений до начала организации новых станций, полые кружки — эпицентры с июля 2012 г. по настоящее время.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

В тектоническом отношении (рис. 1) часть эпицентров землетрясений (рис. 12) приурочена к зоне сочленения Скифской плиты и Украинского щита и к раннекиммерийскому Северотарханкутскому разлому. Другие цепочки и сгущения эпицентров попадают в зону влияния раннекиммерийских разломов: Донузлавского и Сулинско-Крымского.

Особо следует обратить внимание на концентрацию эпицентров землетрясений в районе Глебовского ПХГ, которые могут быть связаны, как с естественными сеймотектоническими процессами в зонах ближайших разрывных нарушений, проявившихся в позднеальпийский этап, так и с наведенной сейсмичностью.

Очаги всех зарегистрированных землетрясений были расположены в земной коре на глубинах от 5 до 25 км с преобладанием  $h = 5 \pm 1$  км и  $h = 20 \pm 1$  км (табл. 3).

На рис. 13 показаны гистограммы распределений количества землетрясений во времени: по годам, месяцам и дням.

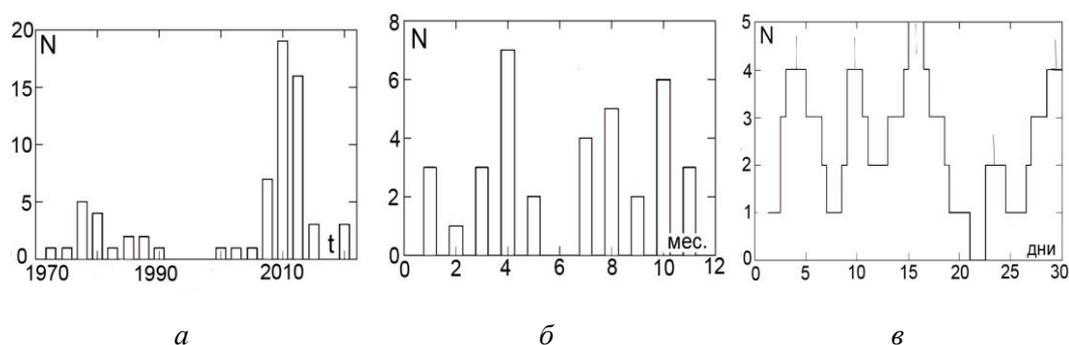


Рис. 13. Гистограммы распределений количества землетрясений во времени с 1972 по 2020 г. (а), по месяцам (б), по дням (в).

Прежде всего, можно отметить, что количество эпицентров в этом районе в последнее время заметно возросло (рис. 13а). Предположительно это связано как с возросшей чувствительностью региональной сети станций, так и возможной наведенной сейсмичностью в этом районе.

Наблюдается заметная периодичность кластеров эпицентров во времени с периодами по месяцам — 3 месяца, по дням — 6 дней, требующая уточнения и объяснения на более длительных рядах наблюдений.

Ограниченная статистика по землетрясениям северо-западной части Крыма (табл. 3) пока не позволяет количественно оценить параметры сейсмического режима. Можно только отметить, что в целом этот район относится к менее сейсмически активным, где представительные для всего региона землетрясения с  $K_{II} = 9$  не отмечены с 1979 г., т. е. за последние 40 лет. В то же время, часть более слабых сейсмических толчков с  $K_{II} = 8$ , которые представительны не на всей изучаемой территории [12], и даже с  $K_{II} \leq 7$  удалось зафиксировать сравнительно удаленными стационарными станциями на пределе их регистрационных возможностей. Как было показано в работе [13], в соответствии с законом

повторяемости землетрясений Крыма, ежегодно в краевых зонах региона происходят «потери» в количестве до  $N = 59$  незарегистрированных землетрясений с  $K_{\Pi} = 7$ . Можно надеяться, что с расширением региональной высокочувствительной сети станций и, прежде всего в северо-западной части, число таких потерь существенно сократится.

## **ВЫВОДЫ**

1. Анализ геологических и физико-механических характеристик пород северо-западной части Крыма показал, что геологическое строение с развитием более чем на 120 м по глубине известняковых толщ, является благоприятным для размещения в этом районе сейсмических станций с высокой чувствительностью к слабым сейсмическим колебаниям.

Результаты первых наблюдений на двух сейсмических станциях «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ 2), представляющих фрагмент будущей локальной сейсмической сети северо-запада Крыма, а также исследование спектральных особенностей помех подтвердили правильность выбора мест для регистрации слабых землетрясений.

2. Отмечено хорошее качество регистрационных возможностей станций «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ 2), обеспечивающее высокую эффективность и чувствительность станций. На примере выборки 2018 года показано, что эффективность работы станции TARU и DNZ 2 по отношению к представительным землетрясениям для всего региона с  $K_{\Pi} \geq 9$  составила, соответственно, 100 и 75%, а для  $K_{\Pi} \geq 8$  — 66% и 58%.

3. Достаточно высокая чувствительность обеих сейсмических станций обеспечивает возможность надежно регистрировать землетрясения с  $K_{\Pi} \geq 9$  для всего региона на расстояниях до 400 км и слабые толчки северо-западного района — с  $K_{\Pi} \geq 6$  в радиусе до 120 км. За время работы станций «Тарханкут» и «Донузлав-2» зарегистрировано несколько слабых локальных сейсмических событий с  $K_{\Pi} = 4.4-5.5$ , недоступных другим удаленным региональным сейсмостанциям Крыма. Таким образом, открытие двух новых высокочувствительных станций на северо-западе Крыма значительно расширяет границы областей представительности землетрясений и создает возможности для регистрации более слабых сейсмических событий в рассматриваемом районе, повышает надежность определения основных параметров гипоцентров землетрясений практически из всех зон Крымско-Черноморского региона.

4. Станционные значения спектральных и динамических параметров очагов землетрясений, восстановленные по записям волновых форм на станциях «Донузлав» и «Тарханкут» хорошо коррелируют со средними значениями по группе станций Крыма, что свидетельствует о подобии интегральных волновых характеристик зарегистрированных землетрясений и создает перспективы для широкого использования новых станций в изучении очаговых параметров.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

---

5. В тектоническом отношении землетрясения северо-западной части Крыма приурочены к зоне сочленения Скифской плиты и Украинского щита и к раннекиммерийским разломам. Глубины очагов землетрясений расположены в земной коре и не превышают 25 км. Вблизи Глебовского ПХГ отмечена группа эпицентров сейсмических событий, связанных как с естественными сейсмотектоническими процессами, так и с возможной наведенной сейсмичностью. Для выяснения природы этих событий необходима организация полноценного мониторинга локальной сетью станций, тесный контакт и обмен информацией с соответствующими газодобывающими организациями.

6. Первые результаты регистрации слабых землетрясений в северо-западной территории Крыма высокочувствительными сейсмическими станциями вселяют надежду на то, что планируемое расширение сети наблюдений откроет неизвестные ранее особенности сейсмичности и сейсмического режима этого района. Это позволит уточнить сейсмическую опасность территории, на которой расположены особо ответственные экологически опасные объекты и следить за динамикой ее развития.

### Список литературы

1. Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Чёрного и Азовского морей. Атлас. Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. 80 с.
2. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Кримська Серія. Аркуші L-36-XXI (Чорноморське), L-36-XXII (Красноперекопськ), L-36-XXVII (Морське). Пояснювальна записка. Киев: Державний комітет природних ресурсів України, Казенне підприємство «Південкогеоцентр», 2004. 99 с.
3. Вольфман Ю. М., Пасынков Г. Д., Панков Ф. Н. и др. Выбор пунктов наблюдений с целью организации сейсмического мониторинга в Западном Крыму / Научно-технический отчет К/2011. Фонды ИГФ НАНУ. Киев, 2011. 44 с.
4. Обеспечение сейсмобезопасности АРК / Промежуточный отчет о работе по выполнению мероприятий по Республиканской Программе развития строительной отрасли и жилищного строительства в Автономной Республики Крым / Фонды ГАУ «КЭС». Симферополь: 2013. 119 с.
5. Отчёт об инженерных изысканиях для одностадийного проекта на участке строительства очистных канализационных сооружений пансионата завода «Авангард» в с. Оленевка Черноморского района / Фонды СКО «УкрГИИНТИЗ». Симферополь, 1969. 28 с.
6. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для строительства опоры (вышки) «Киев-СТАР», в с. Оленевка АР Крым / Фонды «КрымГИИНТИЗ». Симферополь, 2003. 9 с.
7. Свидлова В. А., Пасынков Г. Д. Сейсмичность Крыма в 2012 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2012 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. С. 6–10.
8. Калинюк И. В., Свидлова В. А., Бондарь М. Н. Сейсмичность Крыма в 2017 году // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Том 4 (70). № 4. С. 7–68.
9. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях для строительства ветровых электростанций «Донузлавская» в пгт Новоозёрное Крымской области / Фонды «КрымГИИНТИЗ», Симферополь, 1995. 20 с.
10. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для строительства коттеджного поселка с разветвленной инфраструктурой и яхтклубом в пгт Новоозерное / Фонды «КрымГИИНТИЗ». Симферополь, 2010. 102 с.

11. Свидлова В. А., Калинюк И. В., Бондарь М. Н., Козиненко Н. М., Сыкчина З. Н. Сейсмичность Крыма в 2014 году // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского. География. 2014. Том 27 (66), № 2. С. 166–191.
12. Калинюк И. В., Свидлова В. А., Бондарь М. Н. Сейсмичность Крыма в 2018 году // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5 (71). № 4. С. 7–75.
13. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Боборыкина О. В. и др. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». 2014. 264 с.
14. Байкал-8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.exras-sib.com> (дата обращения 10.07.2019)
15. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. С. 113–125.
16. Пустовитенко Б. Г. Определение энергии землетрясений Крыма по длительности колебаний // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты) в 1970–1974 гг. Киев: Наукова думка, 1980. С. 34–39.
17. Пустовитенко Б. Г., Терентьев М. Н. Об эффективности современной сети сейсмических станций Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1995–1996 гг. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1997. С. 130–142.
18. Кульчицкий В. Е. Новые годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 4 (70). № 4. 2018 г. С. 164–173
19. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э. Бондарь М. Н. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2018 года // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского География. Геология. 2019. Том 5(71), № 4. С. 77–96
20. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res. 1970. V. 75, no 26, pp. 4997–5009.
21. Пустовитенко Б. Г., Пантелеева Т. А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 251 с.

## **ORGANIZATION AND FIRST RESULTS OF SEISMIC OBSERVATIONS IN THE NORTHWESTERN PART OF THE CRIMEA TERRITORY**

*Pustovitenko B. G., Kulchitsky V. E., Sukhoruchenko S. K., Klyanchin A. I.*

*GAU «Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities», Simferopol, Republic of Crimea, Russia.  
E-mail: bpustovitenko@mail.ru*

To monitor the dynamics of seismic processes in the northwestern part of the Crimean region in the area of hydrocarbon production and the location of a large underground gas storage (UGS), it became necessary to expand and modernize the regional network of stations. The article describes the organization of observations at two seismic stations «Tarkhankut» (TARU) and «Donuzlav-2» (DNZ 2), representing a fragment of the future local seismic network of the north-west of Crimea, and the first results obtained. The seismotectonic conditions of the northwestern part of the region and engineering-geological conditions in the area of the stations are described. It is shown that the geological structure and distribution of strong limestone rocks to a depth of 120 m are favorable for the placement of seismic stations with high sensitivity to weak seismic vibrations.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

An assessment of the level of seismic interference, the range of registration and the accuracy of determining the energy characteristics of station determinations is given. A very good convergence of the results of determining the spectral and dynamic parameters of the sources from the seismograms at the TARU and DNZ 2 stations with the average values for the system of Crimean stations was obtained. An analysis of the efficiency of the stations is given. A conclusion was made about a sufficiently high sensitivity, efficiency and good quality of registration capabilities of the TARU and DNZ 2 stations. The high sensitivity of both seismic stations makes it possible to reliably register earthquakes with  $K_{\Pi} \geq 9$  for the entire region at distances up to 400 km and weak tremors of the north-western region with  $K_{\Pi} \geq 6$  within a radius of up to 120 km.

During the period from 2018 to June 2020, 143 local and 405 near-field earthquakes up to distances of 1000 km were registered at the seismic stations Tarkhankut and Donuzlav-2.

A catalog of earthquakes in the northwestern part of Crimea for the period from 1972 to the present is presented. The catalog includes 36 earthquakes in the range of energy classes 4.4–9. The distributions of earthquakes in space and time are presented. It has been established that some of the earthquake epicenters are confined to the zone of junction of the Scythian plate and the Ukrainian shield and to the Early Cimmerian North Tarkhankut fault. Other chains and thickening of epicenters fall into the zone of influence of the Donuzlavsky and Sulinsky-Crimean Early Cimmerian faults. Particular attention is paid to the concentration of earthquake epicenters in the area of the Glebovskoye underground gas storage. Local seismicity is possibly associated with both primary processes in the zones of the nearest rupture faults, and with those induced under the influence of technogenic loads.

The possibility of organizing a full-fledged local seismic network in the north-west of Crimea is discussed, which will significantly increase not only the sensitivity to weak seismic vibrations, including technogenic ones, but also expand the areas of representativeness of earthquakes for the entire region.

**Keywords:** seismic station, earthquake, seismicity, representativeness, Efficiency, recording range, engineering-geological properties of soils, interference spectra, amplitude spectrum, energy characteristics.

### References

1. Mineral'nye resursy Kryma i prilegayushchej akvatorii Chyornogo i Azovskogo morej. Atlas. (Mineral resources of Crimea and the adjacent waters of the Black and Azov seas. Atlas). Simferopol, Tavriya-Plyus, 2001, 80 p. (in Russian).
2. Derzhavna geologichna karta Ukraïni. Masshtab 1:200 000. Krims'ka Seriya. Arkushi L-36-XXI (Chornomors'ke), L-36-XXII (Krasnoperekops'k), L-36-XXVII (Mors'ke). Poyasnyval'na zapiska (State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Crimean Series. Sheets L-36-XXI (Chornomorsk), L-36-XXII (Krasnoperekopsk), L-36-XXVII (Mors'ke). Explanatory note.) Kiev: Derzhavnij komitet prirodnih resursiv Ukraïni, Kazenne pidpriemstvo «Pivdenekogeocentr», 2004. 99 p. (in Ukrainian).
3. Vol'fman Yu. M., Pasyukov G. D., Pankov F. N. i dr. Vybory punktov nablyudenij s cel'yu organizacii sejsmicheskogo monitoringa v Zapadnom Krymu, Nauchno-tekhnicheskij otchet K/2011. (Selection of observation points for the purpose of organizing seismic monitoring in Western Crimea / Scientific and technical report K, 2011). Fondy IGF NANU. Kiev, 2011, 44 p. (in Russian).

4. Obespechenie sejsmbezopasnosti ARK, Promezhutochnyj otchet o rabote po vypolneniyu meropriyatij po Respublikanskoj Programme razvitiya stroitel'noj otrasli i zhilishchnogo stroitel'stva v Avtonomnoj Respublike Krym (Ensuring the seismic safety of the ARC, Interim report on the work on the implementation of measures under the Republican Program for the development of the construction industry and housing construction in the Autonomous Republic of Crimea). Fondy GAU «KES». Simferopol, 2013. 119 p. (in Russian).
5. Otchyot ob inzhenernyh izyskaniyah dlya odnostadijnogo proekta na uchastke stroitel'stva ochistnyh kanalizacionnyh sooruzhenij pansionata zavoda «Avangard» v s. Olenevka Chernomorskogo rajona (A report on engineering surveys for a one-stage project at the construction site of sewage treatment facilities of the Avangard plant in the village Olenevka Chernomorskiy region). Fondy SKO «UkrGIINTIZ». Simferopol, 1969, 28 p. (in Russian).
6. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah dlya stroitel'stva opory (vyski) «Kiev-STAR», v s. Olenevka AR Krym (Report on engineering and geological surveys for the construction of a support (tower) «Kiev-STAR», in the village Olenevka Autonomous Republic of Crimea). Fondy «KrymGIINTIZ». Simferopol, 2003, 9 p. (in Russian).
7. Svidlova V. A., Pasynkov G. D. Sejsmichnost' Kryma v 2012 godu (Seismicity of Crimea in 2012). Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2012 god. Sevastopol, NPC «EHKOSI-Gidrofizika». 2013, pp. 6–10 (in Russian).
8. Kalinyuk I. V., Svidlova V. A., Bondar' M. N. Sejsmichnost' Kryma v 2017 godu (Seismicity of the Crimea in 2017). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018, Vol. 4(70), no 4, pp. 7–68 (in Russian).
9. Tekhnicheskij otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah dlya stroitel'stva vetrovyh elektrostancij «Donuzlavskaya» v pgt. Novoozernoje Krymskoj oblasti (Technical report on engineering and geological surveys for the construction of wind power plants «Donuzlavskaya» in the town Novoozernoje of the Crimean region). Fondy «KrymGIINTIZ». Simferopol, 1995, 20 p. (in Russian).
10. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah dlya stroitel'stva kottedzhnogo poselka s razvetvlennoj infrastrukturoj i yahtklubom v pgt. Novoozernoje (A report on engineering and geological surveys for the construction of a cottage village with an extensive infrastructure and a yacht club in the town Novoozernoje) Fondy «KrymGIINTIZ». Simferopol, 2010, 102 p. (in Russian).
11. Svidlova V. A., Kalinyuk I. V., Bondar' M. N., Kozinenko N. M., Sykchina Z. N. Sejsmichnost' Kryma v 2014 godu (Seismicity of the Crimea in 2014). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. 2014. Vol. 27 (66), no 2, pp. 168–193 (in Russian).
12. Kalinyuk I. V., Svidlova V. A., Bondar' M. N. Sejsmichnost' Kryma v 2018 godu (Seismicity of the Crimea in 2018). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2019. Vol. 5 (71), no 4, pp. 7–75 (in Russian).
13. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Boborykina O. V. i dr. Monitoring seismicheskikh protsessov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean Black Sea region). Sevastopol, NPC «EHKOSI-Gidrofizika» Publ., 2014, 264 p. (in Russian).
14. Байкал-8 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.expas-sib.com> (data obrashcheniya 10.07.2019).
15. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob ehnergeticheskoy ocenke zemletryasenij Krymsko-Chernomorskogo regiona (On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). Magnituda i ehnergeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij, Vol. 2. Moscow, 1974, IFZ AN SSSR, pp. 113–125 (in Russian).
16. Pustovitenko B. G. Opredelenie ehnergii zemletryasenij Kryma po dlitel'nosti kolebanij (Determination of the energy of earthquakes in Crimea by the duration of oscillations). Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty) v 1970–1974 gg. Kiev, Naukova dumka, 1980, pp. 34–39 (in Russian).
17. Pustovitenko B. G., Terent'ev M. N. Ob effektivnosti sovremennoj seti seismicheskikh stancij Kryma (On the effectiveness of the modern network of seismic stations in Crimea). Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 1995–1996 gg. Sevastopol, NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 1997, pp. 130–142 (in Russian).

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

---

18. Kul'chickij V. E. Novye godografy sejsmicheskikh voln Krymsko-Chernomorskogo regiona (New travel time curves of seismic waves of the Crimean-Black Sea region). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018. V. 4(70), no 4, pp. 164–173 (in Russian).
19. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletryasenij Kryma 2018 goda (Spectral and dynamic parameters of Crimean earthquake foci in 2018). Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2019, Vol. 5 (71), no 4, pp. 77–96 (in Russian).
20. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. J. Geophys. Res. 1970. V. 75, no 26, pp. 4997–5009.
21. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletryasenij Kryma (Spectral and focal parameters of earthquakes of the Crimea). Kiev, Naukova dumka Publ., 1990, 251 p. (in Russian).