

УДК.550. 344.37

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

Бурым Ю. А., Иванов В. А., Самсонов К. А., Троян В. В.

*ГАУ РК «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», г. Симферополь, Республика Крым
E-mail: seismoexpert@gmail.com*

Проведен анализ состояния существовавшей в Крыму с 80-х годов прошлого столетия сейсмопрогностической сети, намечены основные задачи по ее восстановлению и модернизации. Приведены первые результаты приборного переоснащения. Сеть мониторинга сейсмической обстановки находится в рабочем и модернизированном состоянии. Для развития методики прогноза землетрясений возобновлена работа магнитовариационной станции. Результаты спутниковых наблюдений могут дать дополнительные признаки в комплексе рассматриваемых предвестников землетрясений.

Ключевые слова: Сейсмичность, мониторинг, предвестник, гидрогеология.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема прогноза землетрясений остается актуальной для территории Республики Крым, где существует высокая сейсмическая опасность наряду с высокой плотностью населения, особенно в местах отдыха жителей многих государств на южном побережье Крыма. В настоящее время ГАУ РК «КЭС» проводит работы по восстановлению и модернизации сейсмопрогностической сети, которая совместно с сетью сейсмических станций необходима для контроля за динамикой развития сейсмической обстановки в регионе. Работы ведутся с учетом современных технических возможностей по получению и передаче данных. Гидрогеологические наблюдения дополняются регистрацией геомагнитных вариаций вблизи сейсмогенных зон, а также данными спутниковых технологий, доступных в интернет-сети. Все это повышает достоверность полученных результатов и позволяет надеяться на возможность оперативного прогноза землетрясений на территории Республики Крым. В статье рассмотрены первые результаты по совершенствованию системы мониторинга в Крыму с применением комплекса методов.

1. ИСТОРИЯ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ КРЫМА

Работы по организации сейсмопрогностического мониторинга начались в Крыму еще в 80-х годах прошлого столетия под общим методическим руководством институтов ВСЕГИНГЕО МинГЕО СССР и Физики Земли АН СССР. Непосредственными исполнителями были Институт минеральных ресурсов (ИМР г. Симферополь) и Институт геофизики АН УССР (г. Киев) [1]. Было проведено

обобщение всей имеющейся и полученной в процессе работы информации о тектонических и сейсмических процессах на территории, проанализировано их проявление в гидрогеодинамических, геохимических и геофизических явлениях на существующих и заново пробуренных скважинах и источниках воды. Сделан выбор параметров воды, которые целесообразно отслеживать, выбраны места для проведения мониторинга. Таким образом, с целью выявления предвестников землетрясений была создана сеть из 10 гидропунктов (далее г/п), месторасположение и основные параметры которых приведены в таблице 1 [1, с. 166–168].

В целом, работа сети доказала свою эффективность. За более чем 20 лет работы сети отмечено несколько случаев удачного прогноза по комплексу выявленных предвестников, в том числе в 1990 году было сделано донесение правительству СССР о приближающемся землетрясении в акватории, прилегающей к г. Судак. Впоследствии там действительно произошло три ощутимых землетрясения с общей выделившейся энергией $E=6 \cdot 10^{12}$ Дж [1].

Таблица 1.

Перечень сейсмогидрогеологических пунктов

№ п/п	Название и месторасположение	Координаты		Тип, возраст, водовмещающие породы	Вид наблюдений
		φ°	λ°		
1	2	3	4	5	6
1	«Суворовка» Бахчисарайский район	44.73	33.62	Напорный среднемиоценовый известняк, песок	За уровнем подземных вод
2	«Красные пещеры», Симферопольский район	44.86	34.33	Напорный- самоизлив, верхнеюрский, трещиноватые и прокарстованные известняки	Минерализация, хлориды, раств. Не, рН, еН, расход воды
3	«Евпатория», грязелечебница «Мойнаки»	45.19	33.33	Напорный, палеозойский, скальные – метаморфизированные	Минерализация, хлориды, рН, еН
4	«Саки», Санаторий им. Ленина	45.12	33.59	Напорный, неокомский, песчаники	Хлориды, рН, еН, расход воды
5	«Знаменка» Красногвардейский район	45,55	34,33	Напорный, среднемиоценовый известняк, песок	За уровнем подземных вод
6	«Отважное» Кировский район	45,05	35,22	Напорный, юрский, трещиноватые и прокарстованные известняки	За уровнем подземных вод

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

Продолжение таблицы 1.

7	«Сольпром» юг Арабатской стрелки	45,33	35,42	Напорный, понт- мэотический, известняки	За уровнем подземных вод
8	«Щелкино» пгт. Щелкино	45,4	35,82	Напорный, мэотический, трещиноватые известняки, песчаники, алевролиты	За уровнем подземных вод
9	«Симферополь» Территория б-цы им. Семашко	44,95	34,12	Напорный самоизлив., неокомский, конгломераты	Раств. Не, еН, рН
10	«Черные воды», территория грязелечебницы	44,6	33,87	Напорный- самоизлив., триас-юрский, таврический флиш	Раств. Не, еН, рН

На рисунке 1 приведен пример резкого повышения уровня подземных вод (УПВ) на пункте «Красные пещеры» за 2 суток перед серией относительно слабых землетрясений (далее ЗТ) с энергетическим классом $K_{\Pi}=6-8$, произошедших в районе горы Демерджи (Алуштинский район) в ноябре 2011 г. на расстоянии 16–17 км от гидропункта [1]. В монографии [1] также приведены примеры аномального поведения гидрохимических параметров и УПВ, зафиксированные на других скважинах.

К недостаткам сети того времени следует отнести: отсутствие оперативного доступа к результатам, ограниченность арсенала технических средств для организации непрерывного мониторинга, необходимость «оцифровки» полученных данных для последующей математической обработки и несовершенство методики интерпретации и обработки результатов. Например, измерения окислительно-восстановительного потенциала (еН) производились 1 раз в сутки взятием пробы воды с последующей транспортировкой и сдачей в лабораторию.

Результаты измерения УПВ на начальном этапе получались на лентах самописцев и отправлялись для оцифровки и анализа по почте. Оперативные предвестники, если таковые и были, могли бы быть обнаружены лишь ретроспективно, т. е. краткосрочный прогноз был затруднен. Очевидно, что все это приводило к неоправданному перерасходу ресурсов при малой статистике землетрясений и, как следствие, снижению энтузиазма исследователей и внимания органов власти. К тому же, вследствие ухудшения экономической ситуации сеть постепенно приходила в упадок. К 2014 году действующими оставались лишь 2 гидропункта: «Отважное» и «Суворовка», а к 2016 году – только «Отважное».

проведена инвентаризация состояния наблюдательной сети, по результатам которой с учетом полученных данных прошлых лет все гидропункты были разделены на 3 категории:

1. Наиболее информативные в смысле прогноза, а также те, восстановление которых и организация наблюдений не требует большого количества времени и средств: «Отважное», «Суворовка», «Симферополь».

2. Не менее эффективные гидропункты, организация наблюдений на которых требует решения правовых, кадровых, организационных вопросов, а также значительных материальных затрат: «Красные пещеры», «Сольпром», «Щелкино», «Черные воды» (колодец).

3. Гидропункты, скважины, на которых пришли в негодность, или второстепенные в смысле информативности: «Знаменка», «Черные воды», «Саки», «Евпатория».

Таким образом, была определена очередность проведения восстановления и модернизации сети.

С другой стороны, все гидропункты делятся на скважины, в которых установившийся уровень подземных вод (далее – УПВ) находится ниже уровня свободной поверхности, и на те, где скважины изливаются. В первом случае главным исследуемым параметром мониторинга является корреляционная связь между УПВ и атмосферным давлением ($P_{\text{атм}}$), во втором – геохимические свойства воды.

В 2017–2019 гг. были запланированы и выполнены следующие мероприятия:

1. Организация оперативного доступа к результатам наблюдений на г/п «Отважное» с помощью мобильного интернета. Скважина оборудована микропроцессорным магнитострикционным уровнемером, сконструированным и изготовленным сотрудниками уже не существующего ИМР. Для модернизации наблюдений были проведены профилактические, технические работы, сделан ремонт помещения, организована связь по мобильному интернету 1 раз в сутки со считыванием результатов. Необходимо отметить, что на г/п «Отважное» наблюдается наибольшая чувствительность изменения уровня воды к изменениям атмосферного давления и другим факторам. В настоящее время – это действующий пункт оперативного мониторинга. На Рис. 2 приведен пример обнаруженного ретроспективно нарушения корреляционной зависимости между УПВ и $P_{\text{атм}}$ на г/п «Отважное», произошедшими примерно за 5 дней до ощутимого землетрясения 16.06.2017 г. $M=3.4$ в 5 сейсмическом районе вблизи Феодосии на расстоянии 31 км от гидропункта. Стабильный режим здесь предполагает связь вариаций УПВ и $P_{\text{атм}}$ в противофазе. Аналогичные нарушения были предположительно обнаружены в периоды, предшествующие землетрясениям: 13.05.2016 г. $M=3.1$ в 8 км от Алушты, 09.09.2018 г. $M=3.2$ и 13.09.2018 г. $M=2.8$ в 5-м районе на расстоянии 76 км и 91 км соответственно, а также за 8 дней до землетрясения 15.10.2018 г. в Азовском море $M=4.3$ на расстоянии 212 км от г/п «Отважное».

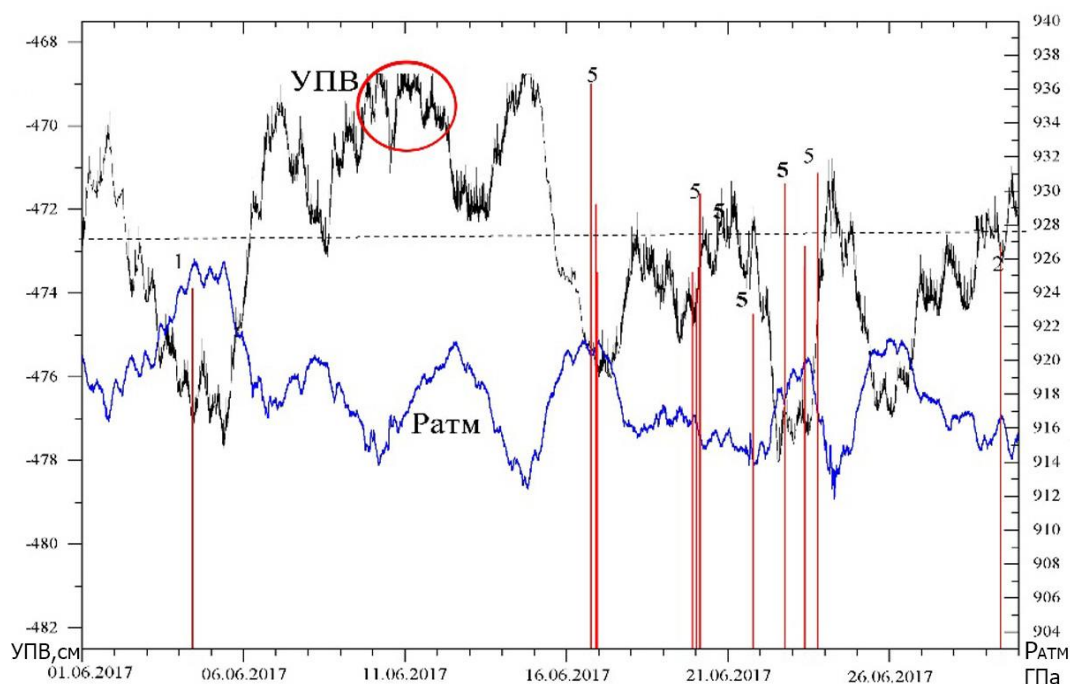


Рис. 2. Вариации (УПВ) и $P_{\text{атм}}$ на г/п «Отважное» за июнь 2017 г.

2. На г/п «Суворовка» произведена замена пришедшего в негодность уровнемера на устройство, позволяющее оперативно передавать данные. С этой целью сотрудниками ГАУ РК «КЭС» совместно с сотрудниками КФУ им. Вернадского был разработан, изготовлен и установлен на гидропункте регистратор УПВ и $P_{\text{атм}}$. В реализованном устройстве в качестве измерителя УПВ применен лазерный дальномер, измеряющий расстояние до воды в скважине с точностью до 1 мм. Используются датчики атмосферного давления и напряжения аккумулятора фирмы «Релеон». Гидропункт оснащен промышленным компьютером, обеспечивающим непрерывное измерение УПВ и $P_{\text{атм}}$ 1 раз в 30 мин. Передача результатов происходит 1 раз в сутки по мобильной интернет-сети. На рисунке 3 приведен пример полученных на г/п «Суворовка» данных.

3. На излившейся скважине г/п «Симферополь» возобновлены наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом воды (далее – ОВП или еН). Ранее забор пробы осуществлялся 1 раз в сутки с последующим лабораторным анализом. Теперь мы дистанционно получаем данные 1 раз в 30 мин. В качестве регистратора применен комбинированный редокс-электрод фирмы «JUMO», а также датчик окислительно-восстановительного потенциала фирмы «Релеон» для сравнения. Пример полученных данных приведен на рисунке 4.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

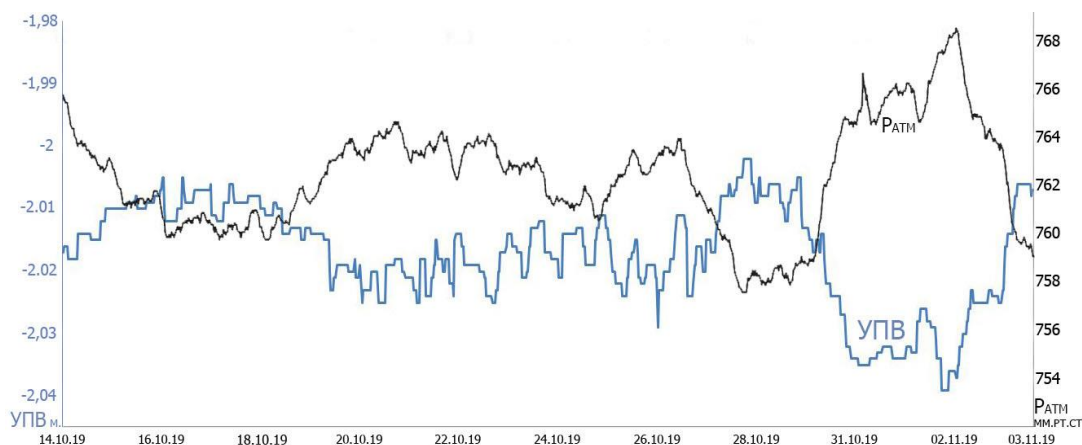


Рис. 3. Результаты наблюдений УПВ и $P_{\text{атм}}$ на г/п «Суворовка» за период с 14.10.2019 г. по 03.11.2019 г.

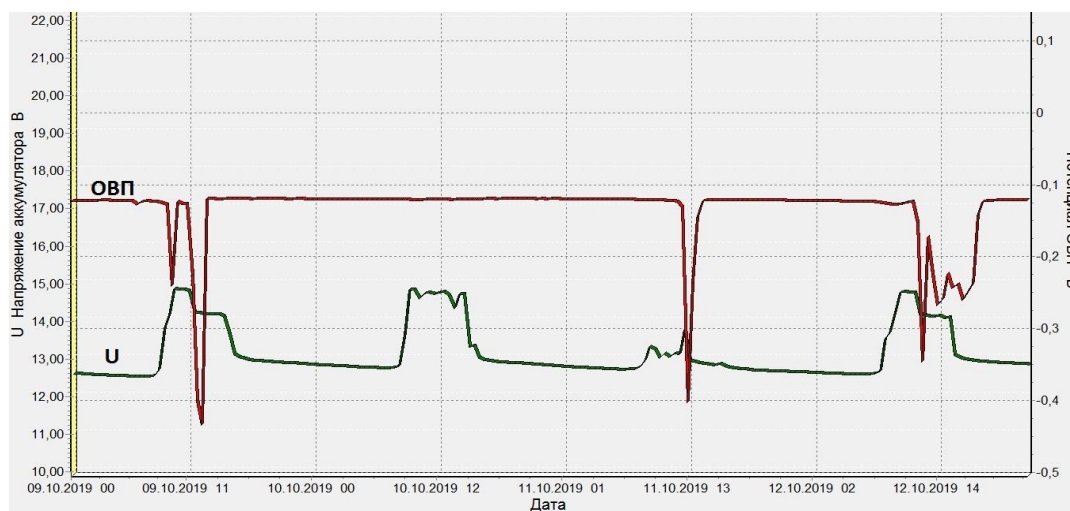


Рис. 4. Результаты наблюдений за окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) и напряжением аккумулятора U на г/п «Симферополь».

Важнейшим условием работы сейсмопрогностической сети является обеспечение непрерывности измерений, поэтому на всех гидропунктах сети установлены солнечные батареи мощностью 100 *вт*, обеспечивающие надежное автономное питание приборов. Динамика подзарядки аккумулятора также отображена на рисунке 4.

Таким образом, на текущий момент гидрогеологические пункты находятся в рабочем состоянии с непрерывной регистрацией и оперативной передачей

информации, но об их информативности можно судить пока только ретроспективно. Для получения вывода о появлении предвестников землетрясений (далее ЗТ) необходимо получение длительных непрерывных рядов измерений, накопление статистики поведения УПВ и $P_{\text{атм}}$, eH при ЗТ и освоение методики математической обработки результатов.

2.2. Возобновление работы магнитовариационной станции

Одной из составляющих сейсмического мониторинга является регистрация вариаций геомагнитного поля. На территории Крыма нами возобновлена работа магнитовариационной станции (ст.) «Лазурное» в Алуштинском районе на основе прибора LEMI-018. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о возможности существования предвестников в виде вариаций геомагнитного поля в диапазоне периодов 100 с [2, 3]. Предполагается, что такие вариации могут являться магнитным возмущением, вызванным начавшимися тектоническими процессами. На основе архивных записей геомагнитных вариаций за период 2006–2018 гг. был проведен предварительный ретроспективный анализ изменений спектра в диапазоне периодов 10–200 с перед местными ЗТ. Возможность появления предвестников прогнозирования ограничена «короткодействием» эффекта, поэтому рассматривались лишь землетрясения с магнитудой $M_w \geq 3.5$, находящиеся в непосредственной близости от ст. «Лазурное» – в радиусе до 100 км с учетом глубины гипоцентра (Табл. 2). Для анализа выбирались 3-х часовые, а затем и часовые периоды в ночное время за 5 и менее суток, непосредственно предшествовавших землетрясениям (Рис. 5). Ввиду малого количества и малой мощности землетрясений можно сказать, что целью этого анализа была опробованная методики мониторинга предвестников землетрясений.

Таблица 2.

Перечень отобранных для анализа землетрясений, эпицентры которых находятся вблизи ст. «Лазурное»

Дата	Время	Координаты		Гипоцентральное расстояние (км)	Магнитуда (M_w)
		φ°	λ°		
11.04.2009 г.	0:09	44.1	34.07	67	3.5
12.04.2009 г.	16:31	44.1	34.14	74	4.3
21.06.2009 г.	19:36	44.0	34.11	79	3.5
09.09.2011 г.	7:46	44.4	34.34	34	3.5
15.10.2013 г.	3:35	44.5	34.35	14	3.7
02.03.2014 г.	3:34	44.3	34.33	46	4.1
13.05.2016 г.	14:05	44.6	34.43	14	3.5

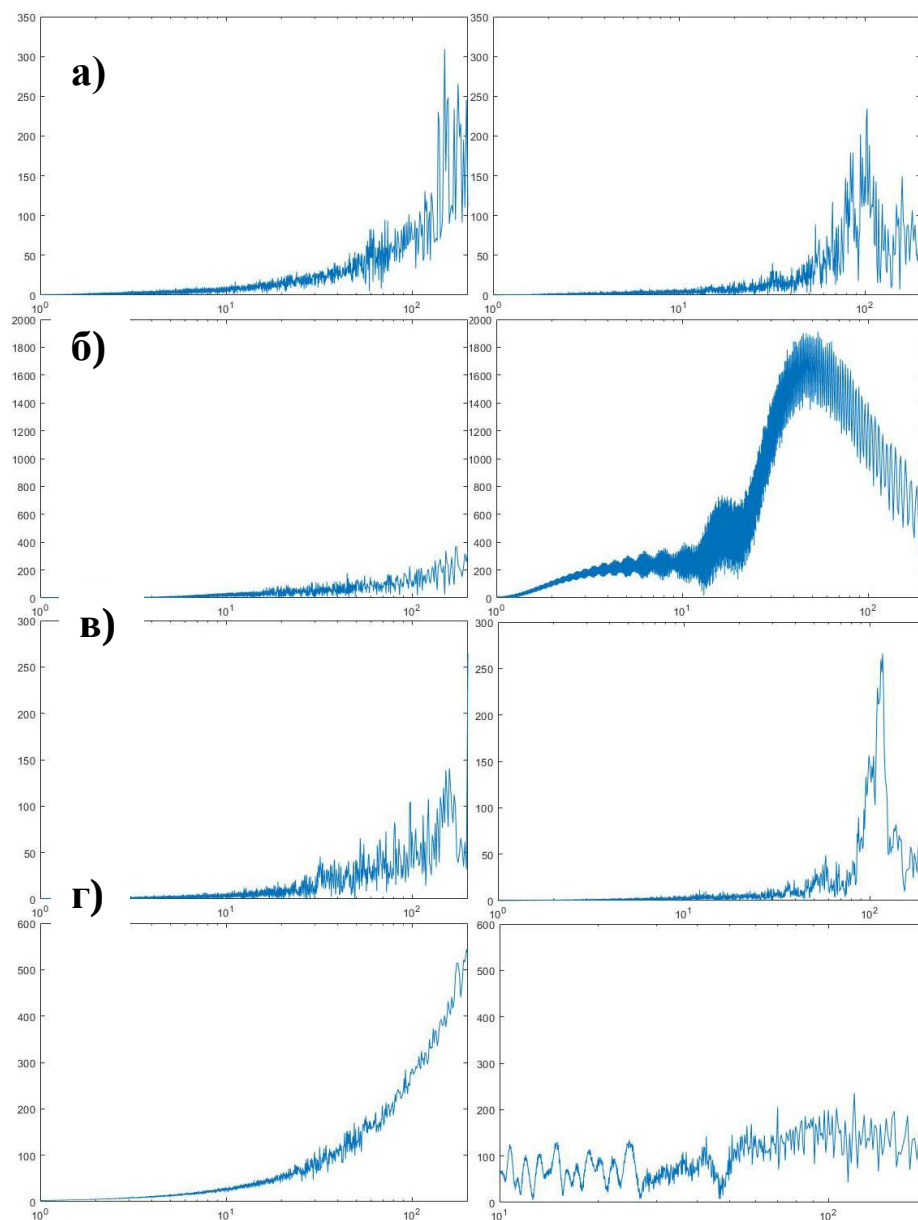


Рис. 5. Аномалии спектра геомагнитных вариаций (X-компонента) в диапазоне периодов 10–200 с (справа) в сравнении со спектром, соответствующим предшествующему «спокойному» отрезку времени (слева), образовавшиеся: а) 11.04.2009 г. перед землетрясением 12.04.2009 г.; б) 14.10.2013 г. перед ЗТ 15.10.2013 г.; в) 27.02.2014 г. перед ЗТ 2.03.2014 г.; г) 11.05.2016 г. перед ЗТ 13.05.2016 г.

Перед четырьмя из семи отобранных землетрясений отмечены характерные изменения различного вида в спектре вариаций: появление пика, соответствующего периоду примерно 100 с (Рис. 5 «а», «б», «в») и дополнительные возмущения в диапазоне периодов 10–30 с (Рис. 5 «г»). Наименее убедительной выглядит аномалия на Рис. 5 «а», что, по-видимому, связано с большим расстоянием до гипоцентра. В настоящее время можно только предположить, что обнаруженные аномалии являются предвестниками. Для проверки этого предположения проводятся дополнительные исследования по выявлению аналогичных явлений в других сейсмических районах, используя данные международной сети ИнтерМагнет.

3. РАСШИРЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ ПУТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

3.1. Облачные предвестники сейсмической активности

Известно, что локальная дегазация литосферы при сейсмотектонической активизации визуализируются облачными сейсмоиндуцированными структурами (ОСИС). На Рис. 6 «а» показано типичное ОСИС типа «линейное облако», которое наблюдалось у побережья Японии за несколько дней до «роя» ЗТ.

При регулярных наблюдениях облачных покровов над территорией Крыма и акватории Черного моря с использованием изображений со спутников «Тегга», «Аква» и «Suomi» и видеозаписей ресурса Sat.24 15 июля 2017 года нами было зафиксировано появление неподвижного «линейного облака» Рис. 6 («б» и «г» снятые с разницей в три часа). ГАУ РК «КЭС» было ошибочно подано извещение о возможном сильном ЗТ в Крыму. Через пять дней по оси облака на расстоянии, соизмеримом с его длиной, со стороны Турции (Рис. 6 «в») произошло мощное землетрясение $M = 6.5$. Следует отметить, что по результатам наших исследований, доля землетрясений, перед которыми были зафиксированы облачные предвестники, от общего количества ЗТ на всей Земле составляет единицы процентов. По-видимому, это связано с тем, что для проявления облачных предвестников необходимо особое сочетание параметров атмосферы, при которых возможна конденсация паров воды, визуализирующих потоки исходящих из недр газов.

3.2. Краткосрочный атмосферно-барический предвестник (АБП) землетрясений

В работах [4, 5] для прогноза сейсмических событий было предложено использовать атмосферно-циркуляционный предвестник землетрясений в виде быстро смещающихся сопряженных циклона и антициклона, позволяющий за двое-трое суток определить формирование триггера, инициирующего ЗТ. При исследовании этого явления нами было обнаружено, что мелкомасштабные приповерхностные барические поля, градиент давления которых по энергетическим соображениям не может являться триггером, а тем более причиной землетрясений, практически всегда топологически связаны с эпицентрами как слабых, так и сильных ЗТ.



Рис. 6. ОСИС типа «линейное облако» появившееся за три дня до «роя» ЗТ в море у побережья Японии 18.11.2016 г. (А). Спутниковые снимки «линейного облака» в акватории Черного моря, наблюдавшиеся 15 июля 2017 г., сделанные с разницей около 3 часа (В и D). Эпицентр сильного землетрясения $M=6.5$ в Турции 20 июля 2017 г. (С).

Учитывая это, в настоящей работе предлагается ввести определение краткосрочного атмосферно-барического предвестника землетрясения (АБП), не имеющего триггерную природу. На карте изобар АБП наблюдается в виде круга или ложбины области низкого давления. Эпицентр готовящегося ЗТ расположен вдоль ложбины, преимущественно у ее вершины (Рис. 7).

Появление указанного предвестника объясняется известным физическим явлением – падением атмосферного давления в окрестности готовящегося ЗТ. Известно, что наша планета теряет около 3 кг водорода за одну секунду и основной поток газов сейсмогенного происхождения привязан к разломам литосферы. Дегазация земной коры накануне сейсмического удара и активная эманация водорода в атмосферу изменяют процентное соотношение между компонентами воздуха. Соотношение компонент: ~78% азота, 21% кислорода, 1% – остальные газы, создает нормальное атмосферное давление 748 мм рт. ст. или 26 мм рт. ст. на

один грамм веса моля воздуха (28,7). Присутствие в воздухе легкого водорода (молярный вес 2) понижает расчетное атмосферное давление в пропорции ~ 7 мм рт. ст. на 1% концентрации водорода.

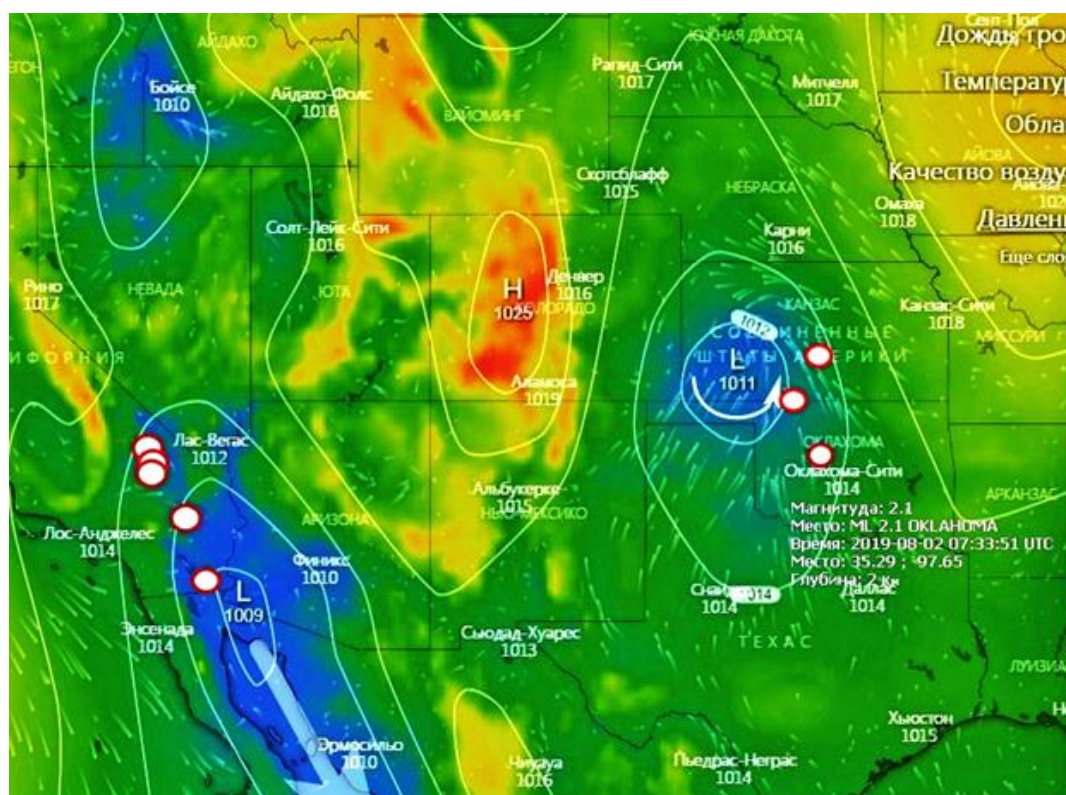


Рис. 7. Конфигурация изобар мелкомасштабных приповерхностных слабых барических полей типа «ложбина» и «круг» топологически связанных с эпицентрами ЗТ вблизи Лос-Анжелеса и Оклахома-Сити перед ЗТ произошедшими 2 июля 2019 г.

По данным измерений, проведенных во время Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года [6], содержание водорода, истекающего через разломы и трещины литосферы, может возрасти на 5–6 порядков, а область газодинамического возбуждения охватывает площади в десятки тысяч квадратных километров. Интенсивный выброс водорода – избыточная концентрация водорода в атмосфере может достигать нескольких процентов, достаточно быстро искажает конфигурацию крупномасштабного барического поля и на начальном этапе отображает конфигурацию области истечения водорода на местности. Мелкомасштабное барическое поле, связанное с эпицентром готовящегося ЗТ, быстро трансформируется (счет идет на часы) – соседние ложбина и круг сливаются, а изобары областей повышенного давления втягиваются по

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

направлению к эпицентру ЗТ, таким образом выпуклости изобар ориентированы на эпицентр готовящегося ЗТ. В настоящее время идет дальнейшее накопление статистики проявления описанного АБП.

На рисунке 8 (а и б) показана эволюция барических полей типа «ложбина» и «круг», возникших перед сильным землетрясением $M=5.7$ в Турции за временной промежуток в 3 часа. Дискретность изобар на этом и последующем рисунке равна 2 Гп (1.5 mmHg), что в соответствии с ранее приведенной пропорцией способно отобразить изменение концентрации водорода в данной области на 0.2%.

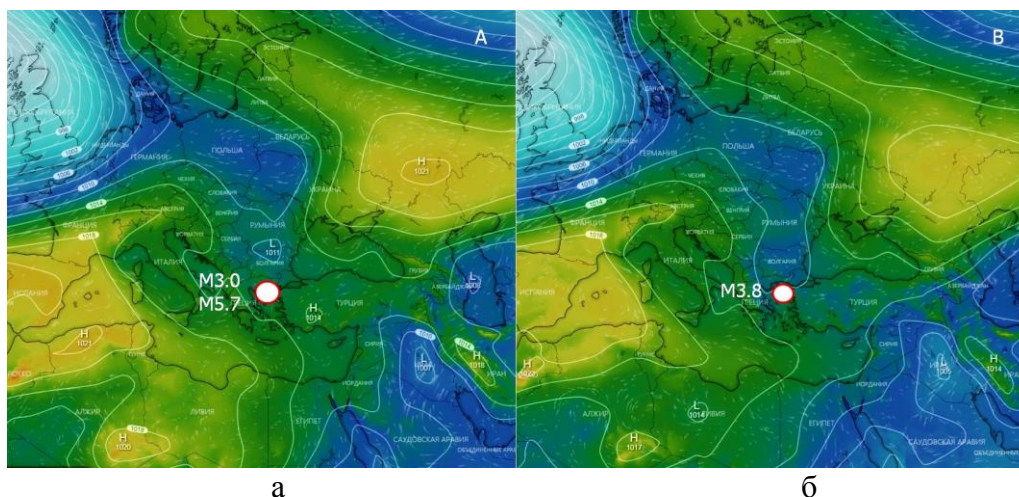


Рис. 8. Конфигурация барического поля атмосферного давления в день ЗТ, произошедшего 8 августа 2019 года в Турции, представляет собой ложбину и впадину низкого давления (а). Конфигурация барического поля 3 часа спустя представляет собой ложбину, ось которой показывает эпицентр (б).

Применение такого подхода к пониманию краткосрочного АБП позволило за два дня предвидеть сильное ЗТ, произошедшее в рифтовой зоне оз. Байкал 28.08.2019 г. (Рис. 9). В настоящее время идет дальнейшее накопление статистики проявления, описанного АБП.

Подобные «необъяснимые» перемещения воздушных масс не описываются и не предсказываются современными метеорологическими моделями. Программные ресурсы, отображающие и моделирующие развитие барических полей во времени, отслеживая существенное отклонение поведения воздушных масс от предсказанного метеорологической моделью, открывает возможность автоматического определения зон планеты, где не исключена вероятность ЗТ в ближайшие 24 часа.

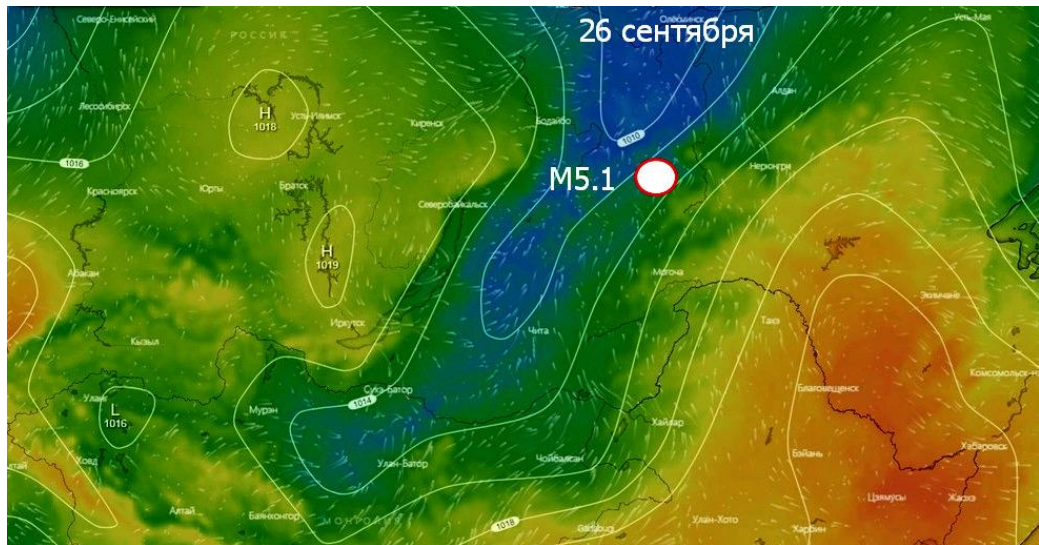


Рис. 9. Мелкомасштабная конфигурация барического поля типа «ложбина» сформировавшаяся 26 сентября в Прибайкалье за два дня до ЗТ $M=5.1$ в рифтовой зоне оз. Байкал.

В отличие от облачных предвестников АБП не зависит ни от времени суток, ни от редкого сочетания физических параметров атмосферы. В отличие от «точечных» измерений на гидропунктах новый предвестник отображает масштабность природного явления. К достоинствам предвестника относится и то, что используемые карты барических полей вместе с прогнозом их эволюции находятся в открытом доступе интернета и обновляются каждые 2–4 часа.

ВЫВОДЫ

В настоящее время сейсмопрогностическая сеть, существовавшая в Крыму с 80-х годов прошлого столетия, находится в рабочем и модернизированном состоянии. Однако, для получения выводов о четко определенных предвестниках землетрясений необходимо обеспечить долговременную стабильность в работе, получить непрерывные ряды результатов наблюдений для последующей интерпретации и математической обработки. В работе высказано предположение о существовании геомагнитных предвестников Крымских землетрясений, рассмотрен примерный алгоритм для их выявления и намечено направление последующих исследований. Впервые сформулировано определение атмосферно-барического предвестника ЗТ. По состоянию на сегодняшний день результаты спутниковых наблюдений в комплексе с наземными измерениями могут быть эффективными инструментами в прогнозе сейсмической активизации в регионе. Авторы выражают благодарность Лущику А.В. и Швырло Н.И. за передачу опыта гидрогеологических наблюдений и Б. Г. Пустовитенко за ценные замечания по существу работы.

Список литературы

1. Пустовитенко Б. Г., Лушик А. В., Боборыкина А. В., Кульчицкий В. Е., Можжерина А. В., Насонкин В. А., Панков Ф. Н., Поречнова Е. Н., Пустовитенко А. А., Тихоненков Э. П., Швырло Н. Н. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НИИЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. 264 с.
2. Рокитянский И. И. 60 лет геоэлектроманнитных наблюдений на геофизической станции «Алушта» и прилегающих территориях // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2017. Том 3(69). №4. С. 171–178.
3. Rokityansky I. I., Babak V.I., Tereshyn A. V., Hayakawa M. Variations of Geomagnetic Response Functions before the 2011 Tohoku Earthquake // Open Journal of Earthquake Research. 2019, no 8, pp.70–84.
4. Боков В. Н. Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений // Уральский геофизический вестник. 2004. № 6. С. 5–11.
5. Боков В. Н., Гутшабаш Е. Ш., Потиха Л. З. Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений // Ученые записки РГГМУ. 2011. №18. С. 173–184.
6. Осика Д. Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. М.: Наука, 1981. 203 с.

**RECOVERY AND DEVELOPMENT
OF A SEISMOPROGNOSTIC NETWORK IN THE CRIMEA**

Burym Yu. A., Ivanov V. A., Samsonov K. A., Troyan V. V.

*GAU RK «Crimean expert council for seismic hazard assessment and earthquake forecast»,
Simferopol, Republic Republic of Crimea, Russia
E-mail:seismoexpert@gmail.com*

The problem of earthquake prediction remains relevant for the territory of the Republic of Crimea. Since the 80s there has been a seismic network in the Crimea with 10 hydrologic points. It has been established that the most informative in the sense of the forecast is the correlation between variations in the level of groundwater and atmospheric pressure at wells, as well as changes in the redox potential. Due to the deterioration of the economic situation, the network fell into disrepair, and by 2014 only 1 hydrologic point was operating. In 2016, Crimean expert council for seismic hazard assessment and earthquake forecast "KES" started to restore the forecast network at a new scientific and technical level. 3 hydrologic points are currently operating. The work provides examples of the results obtained, including those that may be precursors to earthquakes. One of the components of seismic monitoring is registration of geomagnetic field variations. The work of the "Lazurnoye" magnetovariance station in the Alushta region on the basis of the LEMI-018 device has been resumed. On the basis of archive records of geomagnetic variations for the period of 2006-2018, a preliminary retrospective analysis of spectrum changes in the range of 10-200 s was carried out. The results of the analysis indicate the appearance of additional peaks in the spectrum of variations before 4 of 7 selected local earthquakes. Currently, there is a real possibility to expand the list of forecast parameters by using satellite images available on the Internet. According to our research results, the share of earthquakes with cloud precursors before them is about few percents of the total number of earthquakes on the whole Earth. In the study of barric field maps, the definition

of an earthquake precursor has been formulated, manifesting itself in a special configuration of pre-earthquake isobars in the form of circles or isobaric curvature in low-pressure areas. The definition was confirmed by a large number of examples. Probably such features are related to the emission of light gases through the fractures of the lithosphere in the vicinity of the prepared earthquake. To date, satellite observations, in combination with ground-based measurements, can be effective tools in predicting seismic activity in the region.

References

1. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Boborykina A. V., Kul'chickij V. E., Mozhzherina A. V., Nasonkin V. A., Pankov F. N., Porechnova E. N., Pustovitenko A. A., Tihonenkov E. P., Shvyrlo N. N. Monitoring seismicheskikh processov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region). Sevastopol: NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 2014, 264 p. (in Russian).
2. Rokityanskij I. I. 60 let geoelektromagnitnyh nablyudenij na geofizicheskoy stancii «Alushta» i privileyushchih territoriyah (60 years of geoelectromagnetic observations at the geophysical station «Alushta» and adjacent territories). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya, 2017, T. 3(69), no 4, pp. 171–178 (in Russian).
3. Rokityansky I. I., Babak V.I., Tereshyn A. V., Hayakawa M. Variations of Geomagnetic Response Functions before the 2011 Tohoku Earthquake. Open Journal of Earthquake Research, 2019, no 8, pp.70–84.
4. Bokov V. N. Izmenchivost' atmosfernoj cirkulyacii – iniciator sil'nyh zemletryasenij (Variability of atmospheric circulation – the initiator of strong earthquakes). Ural'skij geofizicheskij vestnik, 2004, no 6, pp. 5–9 (in Russian).
5. Bokov V. N., Gutshabash E. SH., Potiha L. Z. Atmosfernye processy kak triggernyj effekt vozniknoveniya zemletryasenij (Atmospheric processes as a trigger effect of earthquakes). Uchenye zapiski RGGMU, 2011, no 18, pp. 173–184 (in Russian).
6. Osika D. G. Flyuidnyj rezhim seismicheskij aktivnyh oblastej (The fluid regime of seismically active regions). M., Nauka, 1981, 203 p. (in Russian).