

УДК 550.34

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Иванов В. А., Бурым Ю. А.*

*ГАОУ «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: seismoexpert@gmail.com*

В работе установлено, что локальные изгибные возмущения изобар приземного атмосферного давления визуализируют локальные участки местности, где с вероятностью 50% в ближайшие сутки могут произойти землетрясения. Было выдвинуто предположение, что причиной нарушения полей давления является выброс в атмосферу легких сейсмогенных газов, таких как водород или гелий. Выявлены три типа изгибных возмущений барических полей, являющихся предвестниками землетрясений. Также было показано, что чем больше размер барического предвестника, тем больше магнитуда будущего землетрясения и время до его реализации (но не более трех суток). По сравнению с фоновыми барическими полями атмосферного давления предвестники заметно компактнее по размеру и имеют замкнутые или полужамкнутые изобары, что позволяет легко их идентифицировать.

**Ключевые слова:** землетрясения, атмосферное давление, предвестник, прогноз, водород, изобары, краткосрочные аномалии.

### ВВЕДЕНИЕ

Практически все известные виды предвестников землетрясений имеют деформационную природу. Косвенный метод контроля за деформациями литосферы, к которым относятся современные спутниковые технологии наблюдения за выбросами сейсмогенных аэрозолей и газов, в силу интегрирования наблюдаемого эффекта по пространству, является более эффективным методом исследования динамики крупномасштабных напряженно-деформируемых состояний литосферы, чем прямые деформационные измерения. Динамические изменения плотности восходящих потоков сейсмогенных газов в большинстве случаев однозначно отражают динамические изменения напряженно-деформированного состояния литосферы. Облачные сейсмоиндуцированные структуры визуализирующие, как предполагают, зоны интенсивного потока сейсмогенных аэрозолей и газов, не могут служить средством регулярного прогноза землетрясений ввиду того, что они образуются при достаточно редких сочетаниях физических параметров атмосферы, при которых возможна конденсация влаги под воздействием литосферного ионизированного газа. Ситуация осложняется тем, что энергия возникновения облачных структур черпается из атмосферы [1], которая работает как параметрический усилитель — наряду с полезным усилением малых сигналов, не исключается режим лавинообразного усиления, приводящего к возникновению облачных структур несоизмеримых первоначальной причине, поэтому не всегда облачные структуры типа «линейные облака» или облачные «каньоны» сопровождаются сейсмическими событиями.

В работе [2, 3] предложен краткосрочный атмосферно-циркуляционный предвестник землетрясения, в основе которого лежит предположение, что атмосферные процессы, в частности перемещение разнополярных атмосферных

вихрей (циклонов и антициклонов), являются триггером запуска подготовленных землетрясений. При этом подготовка последних обусловлена тектоническими и эндогенными процессами в земной коре. Главным недостатком предложенного предвестника [2, 3] является необходимость предварительного знания координат будущих сейсмических событий и независимыми способами определять степень «готовности» горных пород к разрушению, что представляет собой задачу, не решенную наукой к настоящему времени. Известны устройства для краткосрочного прогноза землетрясений, в которых одним из элементов является датчик сейсмогенного газа, например, водорода [4]. Недостатком методики прогноза с применением данных устройств является невозможность охватить территории большого масштаба, поскольку измерение концентрации водорода ведется в локальных участках, абсолютно несоизмеримых с площадью подготовки сейсмических событий.

### **1. НОВЫЙ СПОСОБ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЛИТОСФЕРЫ**

При ретроспективном анализе коровых землетрясений обращает внимание топологическая связь эпицентров землетрясений с зонами локальной изгибной трансформации изобар атмосферного давления. Наши исследования обнаружили, что мелкомасштабные трансформации глобального барического поля атмосферного давления, градиент которых по энергетическим соображениям никак не может являться триггером, а тем более причиной землетрясений [2], практически всегда топологически связаны с эпицентрами как слабых, так и сильных землетрясений. На рис. 1 показаны эпицентры относительно слабых землетрясений с магнитудой  $M \leq 4.0$ , произошедших в течение суток 28 сентября 2020 года в юго-восточной Европе, которые топологически связаны с изгибными возмущениями изобар атмосферного давления, зафиксированных в начале суток. Сделано предположение, что специфическая мелкомасштабная конфигурация поля изобар атмосферного давления визуализирует активизацию литосферных разломов и трещин в процессе подготовки землетрясений, которая сопровождается выбросом легких сейсмогенных (ЛСГ) газов, и может служить новым интегральным предвестником сейсмических событий.

Литературные данные показывают, что увеличение содержания водорода на 1% приводит к понижению атмосферного давления на 7 мм рт. ст. [5]. Измерения, проведенные во время Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года [6, 7] показали, что содержание водорода, истекающего через разломы и трещины литосферы, может возрасти на 5–6 порядков, причем область газодинамического возбуждения охватывает площади в десятки тысяч квадратных километров. Мы предлагаем использовать для прогноза землетрясения новый вид краткосрочных предвестников — атмосферно-барический предвестник (АБП), в котором средством интегральной визуализации сеймотектонической активизации литосферы служат специфические искажения линий изобар приповерхностного поля атмосферного давления. Такие предвестники заметно выделяются на фоне обычных

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

крупномасштабных барических более компактными размерами, замкнутыми или полузамкнутыми изобарами, поэтому их идентификация не составит труда.

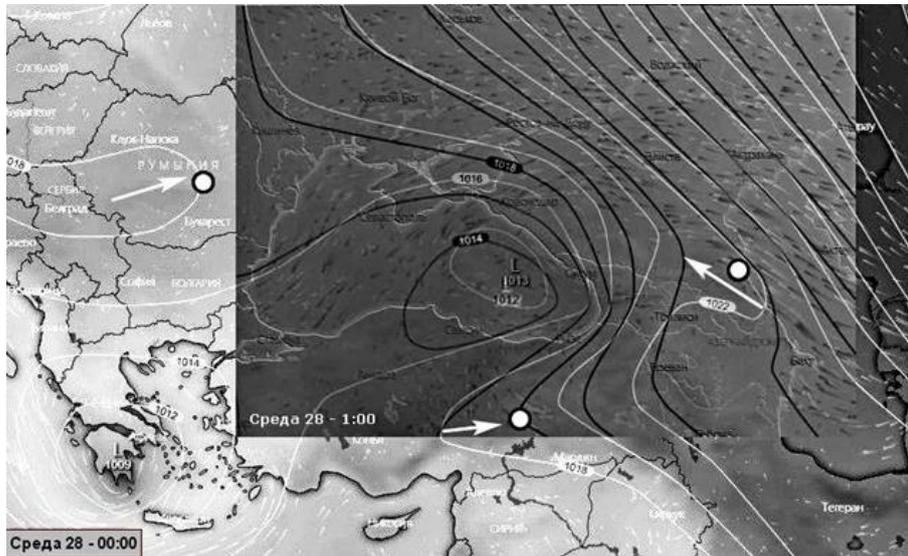


Рис. 1. Эпицентры относительно слабых землетрясений, произошедших в течение суток 28 сентября 2020 года. В центральной части рисунка показано положение изобар спустя один час (темные линии). Белые и черные линии — изобары атмосферного давления, белый кружок — эпицентр землетрясения, белые стрелки показывают направления смещения изобар.

На рис. 2 показаны три типа изгибных возмущений глобальных изобар атмосферного давления — предвестников землетрясений. Группа предвестников землетрясений типа «ложбина» — (а) и «впадина» — (б), выявленных нами ранее [8], — дополнена предвестником типа «бухта» — (в).

Показанные на рис. 2 конфигурации барических полей предшествовали группе землетрясений с магнитудой  $M \leq 4.0$ , произошедших вблизи Лос-Анжелеса 17 июля 2019 года и сильному землетрясению, произошедшему в этот день у побережья штата Орегон с магнитудой  $M = 5.4$  (в). В отличие от предвестника «бухта» мелкомасштабные барические поля типа «ложбина» и «впадина» обычно быстро трансформируются (счет идет на часы) — соосные барические поля часто сливаются, а изобары областей повышенного давления втягиваются по направлению к источнику выброса легких сейсмогенных (ЛСГ) газов.

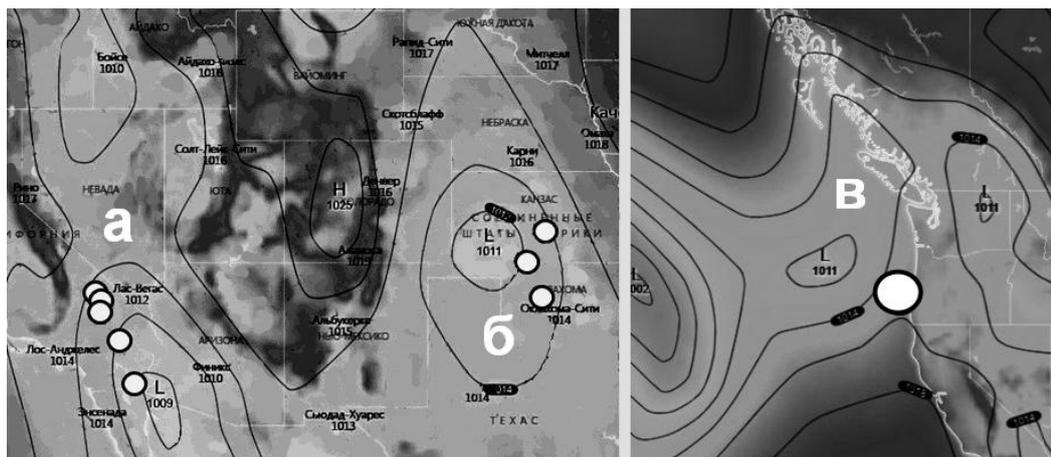


Рис. 2. Конфигурация изобар барических полей типа: «ложбина» (а), «впадина» (б) и «бухта» (в). Непрерывная черная линия — изобары, белый кружок — эпицентр землетрясения.

## 2. КРАТКОСРОЧНЫЙ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЙ ПРЕДВЕСТНИК

В подавляющем числе случаев краткосрочный АБП не является триггером землетрясения, а представляет собой своеобразный визуальный «маркер» источников эксгаляции ЛСГ газов на местности. Мелкомасштабные изгибы глобальных барических полей наблюдаются как в области низких, так и высоких атмосферных давлений. На рис. 3 черным цветом показана конфигурация барического поля атмосферного давления, прогнозируемая синоптической моделью на 11:00 14 мая 2020 года, а белым цветом — реальная конфигурация поля в это время. В результате наложения «фоновое» поля высокого давления и локального поля низкого давления, в области источника эксгаляции ЛСГ газа образуется изобара в виде петли, обращенной в сторону низкого давления, идентичная конфигурации АБП типа «ложбина». В ближайшей окрестности от области мелкомасштабного нарушения барического поля, на расстоянии, соизмеримом с масштабом искажения, через 16.5 часов произошло землетрясение с магнитудой  $M = 3.5$ .

Изменения топографии мелкомасштабного барического поля может происходить достаточно быстро. На рис. 4 представлена эволюция барического поля в окрестности локального источника сейсмогенного газа в интервале четырех часов, который включает и землетрясение, произошедшее в ближайшей окрестности предвестника.

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

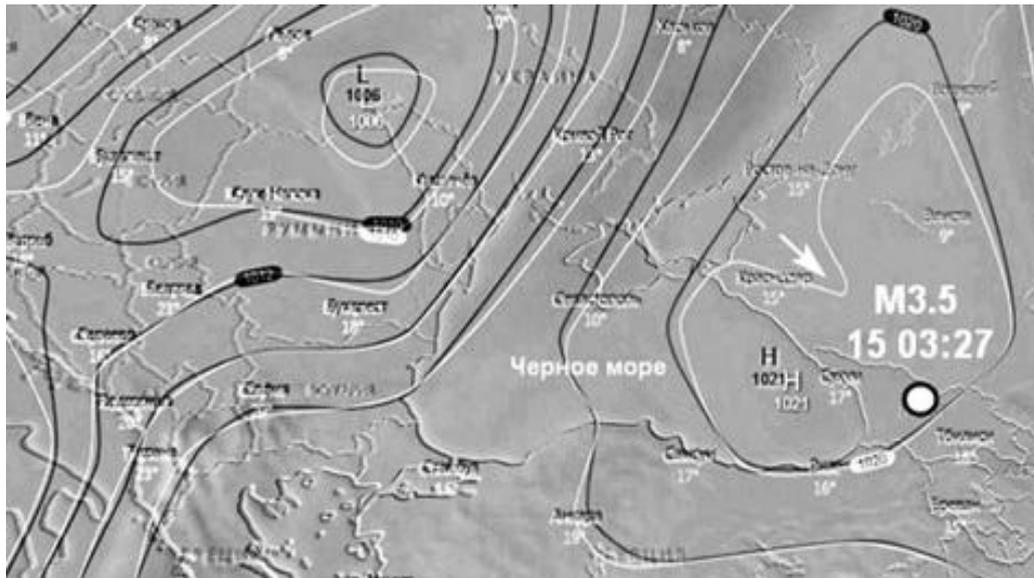


Рис. 3. Топография барического поля типа «ложбина», образовавшаяся при искажении изобары 1 020 ГПа источником локальной эксгаляции легкого газа на Кавказе. Черные и белые линии — изобары, белая стрелка — искажение изобары, белый кружок — эпицентр землетрясения.

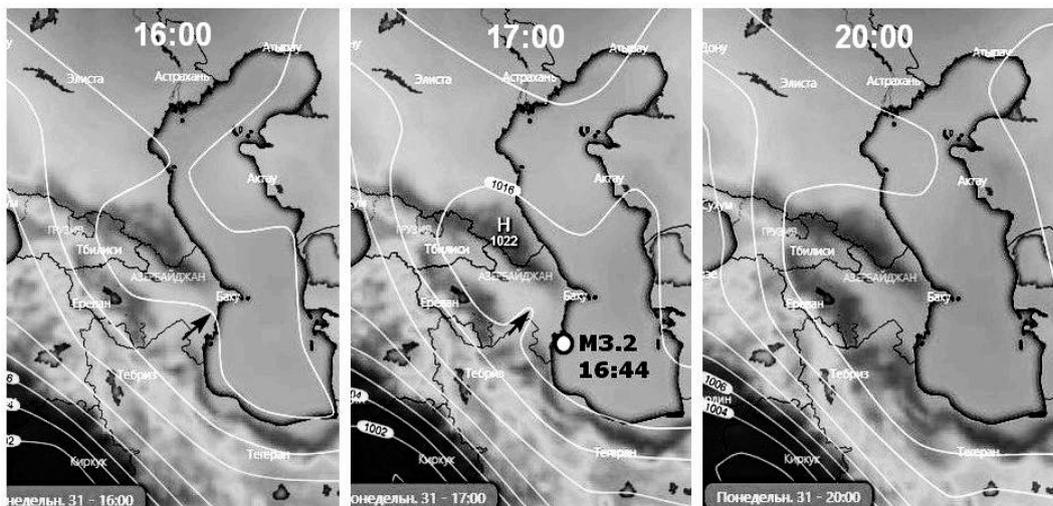


Рис. 4. Мелкомасштабное изгибное искажение изобар типа «ложбина» в ближайшей окрестности эпицентра землетрясения. Белые линии — изобары атмосферного давления, черная стрелка — изгибное искажение изобары высокого давления, — эпицентр землетрясения.

Явления локального понижения атмосферного давления перед землетрясением известны и используются в прогнозах [5, 4]. Однако, в отличие от предложенных нами интегральных атмосферно-барических предвестников, способы краткосрочного предсказания землетрясений, включающие точечное измерение атмосферного давления, не имеют глобальный масштаб, а ограничены ближайшей их окрестностью. Они также могут быть искажены локальной флуктуацией атмосферного давления не сейсмогенного происхождения. Появление изгибных искажений барического поля объясняется выбросом легких газов — водорода и гелия, вызывающими ощутимое локальное понижение атмосферного давления и, как следствие, возникновение потока воздуха вдоль градиента атмосферного давления, часто в виде струйных течений, которые перестраивают конфигурацию первоначального крупномасштабного барического поля. Используемый нами ресурс глобальной метеорологической модели Windy.com. позволяет одновременно с барическим полем, наблюдать векторное поле скорости воздушного потока, что позволяет увидеть «тонкую структуру» АБП-предшественника, в силу меньшей размерности элементов отображения. На рис. 5 показан редкий случай одновременного появления двух предвестников одного землетрясения — известного облачного предвестника типа «линейное облако» (а) и одного из предложенных нами АБП-предвестников типа «впадина» (б), которые были зафиксированы в районе Синопского полуострова 21 мая 2020 года, за два дня до землетрясения с магнитудой  $M=3.0$ .

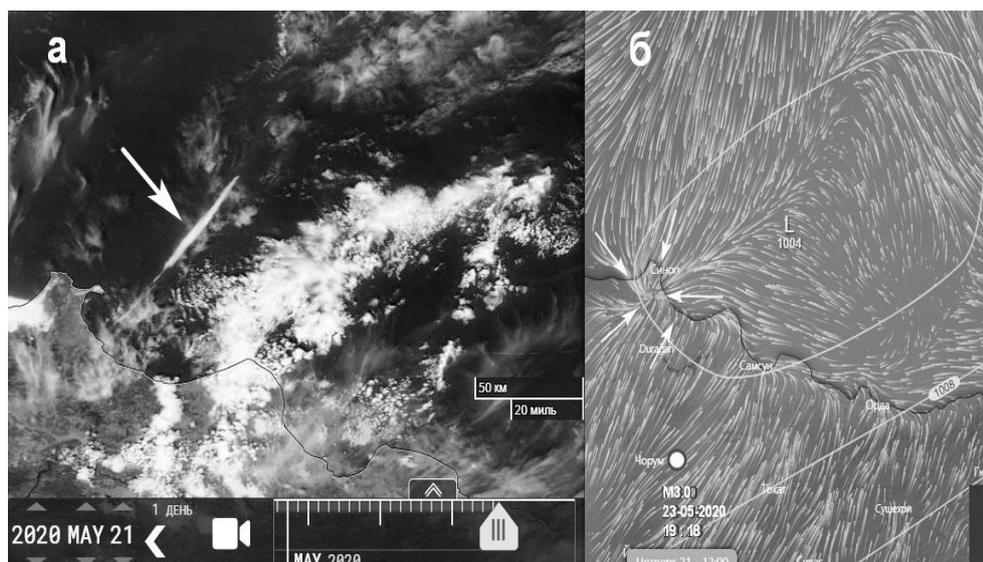


Рис. 5. Два предвестника землетрясения: «линейное облако» (а) и АБП — предвестник типа «впадина» (б). Белые линии — изобары, белые короткие линии — векторы скорости движения приземного воздуха, белая плоская стрелка — «линейное облако», белые стрелки — направление воздушного потока, белый кружок — эпицентр землетрясения.

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

На рис. 5 б показано векторное поле скорости приземного ветра с отрицательной дивергенцией («сток») в области АБП-предвестника. Следует отметить, что «линейное облако» позиционируется на область струйного течения, этот факт позволяет предположить, что природа линейных облаков может определяться как потоками ионизированных сейсмогенных газов, так и струйными течениями при перестройках барических полей при эксгалляции ЛСГ газов.

На рис. 6 показано бухтообразное искажение семейства изобар на периферии крупного циклона, которое было зафиксировано в 00 часов 5 сентября 2020 года в южном Забайкалье на границе с Монголией перед группой достаточно сильных землетрясений. В проекции наблюдаемого АБП произошел форшок  $M = 4.3$ , а через пять часов произошел основной удар с  $M = 5.3$ . При прогнозе координат эпицентра землетрясения, связанных с АБП-предвестниками, необходимо учитывать концепцию «пространственной зональности выбросов» [9], согласно которой эпицентр только привязан к зоне выброса газа, но сам находится вне этой зоны. По нашим наблюдениям АБП-предвестник типа «бухта» обычно предшествует сильному землетрясению. Как показывают наши наблюдения, увеличение масштаба АБП увеличивают, как магнитуду ожидаемого сейсмического удара, так и временной промежуток (но не более, чем 2-3 дня) между появлением АБП предвестника и землетрясения.

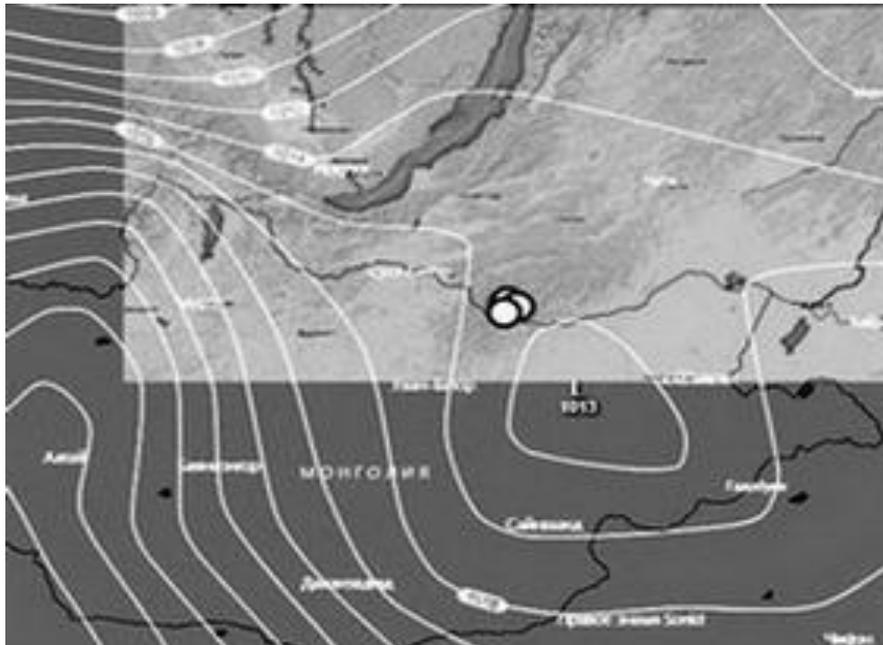


Рис. 6. «Бухтообразное» искажение топографии барического поля на периферии циклона. Белые линии — изобары атмосферного давления, белый кружок — эпицентр землетрясения.

Эволюция масштабного предвестника сильного землетрясения, произошедшего 30 октября 2020 года в Эгейском море в районе островов Додеканес вблизи побережья западной Турции, представлена на рис. 7.

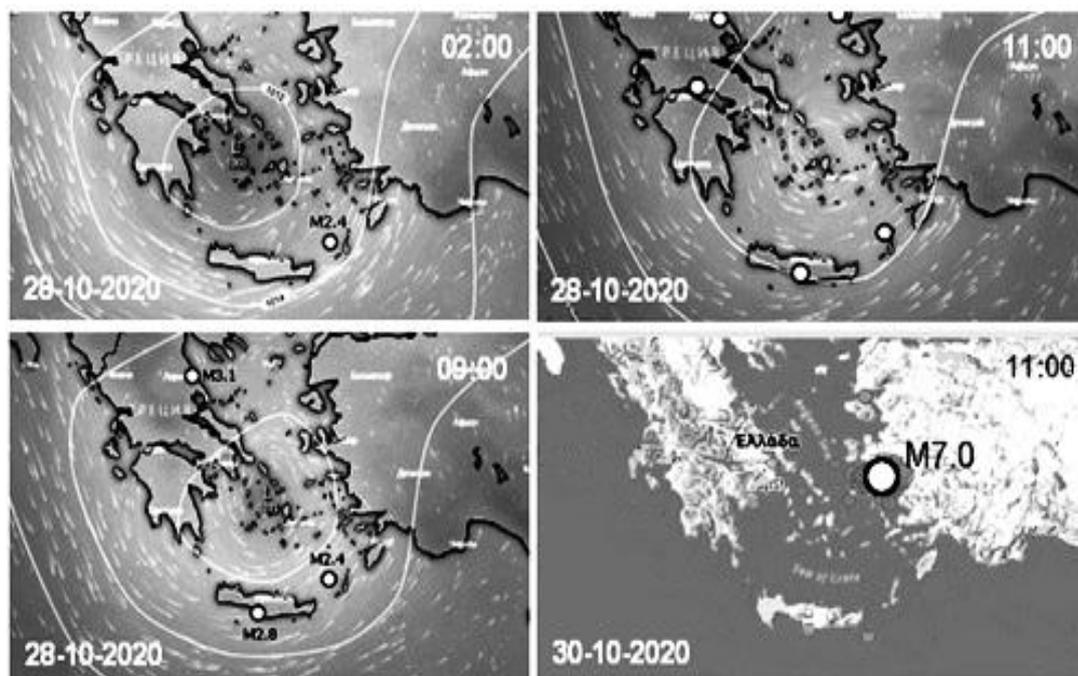


Рис 7. АБП-предвестник подготовки землетрясения типа «впадина». Белая непрерывная линия — изобары атмосферного давления, белый кружок с темной каемкой — эпицентр землетрясения.

Масштабный АБП-предвестник типа «впадина» был задокументирован в 2 часа ночи 28 октября, а через 7 и 9 часов в проекции предвестника были отмечены соответственно 3 и 2 слабых землетрясения. Главный удар с магнитудой  $M=7.0$  произошел в 11 часов 30 октября, через 2.5 суток после выявления АБП-предвестника. Магнитуда произошедшего землетрясения и интервал между главным ударом и появлением предвестника показывает положительную корреляцию с пространственным масштабом изгибных искажений глобального поля атмосферного давления (рис. 7).

В рамках апробации методики проводилось статистическое исследование связи наблюдаемых АБП-предвестников с фактами землетрясений, наблюдаемых в их проекции на местности. Для этого скриншот эпицентров землетрясений, произошедших в Черноморском районе за сутки, совмещался со скриншотом топографии барического поля приземного атмосферного давления, существующего на начало суток. Затем рассчитывался процент сейсмических событий, которые попадали в 300 км зону, включавшую АБП-предвестник. Величина зоны была выбрана как значение среднего пространственного размера предвестника. По нашим данным — в среднем 50% мелкомасштабных изгибных искажений изобар

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

атмосферного давления сопровождалось землетрясениями, минимальное зафиксированное значение составляло 30%, а максимальное — 100%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами предложен новый краткосрочный предвестник землетрясений в виде специфических конфигураций изобар атмосферного давления, которые визуализируют активизацию литосферных разломов и трещин при подготовке землетрясений. Искажение топографии фоновых барических полей приземного атмосферного давления возникает в результате локального уменьшения атмосферного давления в местах выброса легких сейсмогенных газов. Выявлены три типа атмосферно-барических предвестников. Как показали исследования, проекция АБП является площадью, где, во временном интервале не более 3 суток с вероятностью 50% происходит землетрясение, причем магнитуда землетрясения пропорциональна площади предвестника. Появление АБП не зависит ни от времени суток, ни от редких сочетаний физических параметров атмосферы. С большой вероятностью можно утверждать, что отклонения изобар, определяющих предвестник, детерминированы только выбросами легких сейсмогенных газов. Новый предвестник является своеобразным маркером выброса легких сейсмогенных газов на местности и обеспечивает интегральную визуализацию процессов сейсмотектонической активизации литосферы, в глобальном масштабе. Таким образом, непрерывный мониторинг атмосферного давления может быть использован для сейсмического прогноза в любой местности планеты.

### Список литературы

1. Русанов А. И. К термодинамике нуклеации на заряженных центрах // ДАН СССР, 1978. Т. 238, № 4. С. 831–834
2. Боков В. Н., Гутшабаш Е. Ш., Потиха Л. З. Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений // Ученые записки РГГМУ. 2011. № 18. С. 173–184.
3. Боков В. Н. О связи геофизических предвестников с краткосрочным прогнозом землетрясений В сб.: Актуальные проблемы современной сейсмологии. Труды Международной конференции, посвященной 50-летию Института сейсмологии им. Г. А. Мавлянова АНРУз, 12–14 октября 2016 г. Ташкент, 2016. С. 214–220.
4. Бондур В. Г., Давыдов В. Ф., Гапонова М. В., Комаров Е. Г. Измеритель предвестников землетрясений: Пат. RU2647210C1. Рос. Федерация. МПК8 G01V1/008 / № 2016143744А; заявл. 14.03.18; опубл. 14.03.18.
5. Бондур В. Г., Давыдов В. Ф., Сорокин И. В., Сорокина С. В., Цидилина М. Н. Устройство регистрации предвестников землетрясений: Пат. RU2010129072. Рос. Федерация. МПК8 G01V1/008 / № 2016143744А; заявл. 14.07.2010; опубл. 20.01.2012.
6. Ларин Н. В., Ларин В. Н., Горбатиков А. В. Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика П. Н. Кропоткина, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 284–288.
7. Урдуханов Р. И., Войтов Г. И., Николаев И. Н. и др. Нестабильность водородного поля атмосферы почв и подпочв как реакция на Дагестанские землетрясения 1998–2000 гг. // ДАН, 2002. Т. 385. № 6. С. 818.

8. Бурым Ю. А., Иванов В. А., Самсонов К. А., Троян В. В. Восстановление и развитие сейсмопрогностической сети на территории Крыма // Ученые записки КФУ им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5(71). № 4. С. 183–198.
9. Уткин В. И., Юрков А. К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // Докл. РАН. 1998. Т. 358, № 5. С. 575–680

## **SHORT-TERM ATMOSPHERIC-BARIC EARTHQUAKE PRECURSORS**

*Ivanov V. A., Buryum Yu. A.*

*State Autonomous Institution «Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities», Simferopol, Republic of Crimea, Russia.  
E-mail: seismoexpert@gmail.com*

The article proposes new short-term precursors of earthquakes in the form of certain configurations of atmospheric pressure isobars, visualizing the activation of lithospheric faults and cracks during the preparation of earthquakes. The research was carried out on the basis of the resource of the global meteorological model Windy.com. Taking into account the well-known fact — a decrease in atmospheric pressure with an increase in the hydrogen content in the air, the authors establish a connection between local flexural disturbances of isobars of surface atmospheric pressure and the release of light seismogenic gases in the process of preparing an earthquake. The phenomena of a local decrease in atmospheric pressure before an earthquake are known and are used in forecasts, however, unlike the integral atmospheric-baric precursors that we offer, they do not have a global planetary scale. Three types of flexural disturbances of baric fields, which are precursors of earthquakes, have been identified. The «circus» type is an isolated compact low pressure area formed by closed isobars, the «trough» type is a compact low or high pressure area associated with background isobars of the field, the «bay» type is a parallel shift of a narrow band of isobars of the background field.

The precursors, in comparison with the background baric fields of atmospheric pressure, are noticeably smaller in size, have closed or semi-closed isobars, which makes them easy to identify. Baric precursors do not depend on the time of day or on rare combinations of physical parameters of the atmosphere. It can be argued with a high degree of probability that the considered bending distortions of isobars are determined only by emissions of light seismogenic gases. Windy.com Global Meteorological Model. allows observing the vector field of the air flow velocity simultaneously with the baric field, which allows, due to the smaller size of the display elements, to see the «fine structure» of the earthquake precursor. The observation of the movement of air flows near the precursor confirms this conclusion. The evolution of light gases — hydrogen and helium — is accompanied by an air flow along the atmospheric pressure gradient, often in the form of flows that change the configuration of the initial large-scale baric field. The appearance of the precursor is accompanied by the appearance of a «drain» of the air flow, a vortex. The studies carried out made it possible to elucidate the nature of a cloudy precursor of the “linear cloud” type, which can be determined not only by the flows of ionized seismogenic gases, but also by the jet flows of the atmosphere during the restructuring of the structure. baric fields. During a statistical check of the relationship between the observed baric precursors and earthquakes, retrospectively and in the forecast mode, it was found that approximately

## КРАТКОСРОЧНЫЕ АТМОСФЕРНО-БАРИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

---

50% of the observed small-scale bending distortions of atmospheric pressure isobars were accompanied by earthquakes. It was also found that from the moment the precursor appears, the earthquake most often occurs on the first day, and large-scale precursors suggest a large magnitude of the future earthquake and increase the forecast period, but by no more than two days. Thus, continuous monitoring of atmospheric pressure can be used for short-term (1–3 days) seismic forecast anywhere in the world. The new precursor is a marker of seismogenic gas emissions on the lithosphere surface and provides a holistic visualization of the processes of seismotectonic activation of the lithosphere on a global scale.

### References

1. Rusanov A. I. K termodynamike nukleacii na zaryazhennyh centrah (On the thermodynamics of nucleation at charged centers). DAN SSSR, 1978, V. 238, no 4, pp. 831–834 (in Russian).
2. 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).
3. Bokov V. N. O svyazi geofizicheskikh predvestnikov s kratkosrochnym prognozom zemletryasenij. V sb.: Aktual'nye problemy sovremennoj sejsmologii (On the connection of geophysical precursors with short-term earthquake prediction. In collection: Actual problems of modern seismology), Trudy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 50-letiyu Instituta sejsmologii im. G. A. Mavlyanova ANRUz 12–14 oktyabrya 2016 g. Tashkent, 2016, pp. 214–220 (in Russian).
4. Bondur V. G., Davydov V. F., Gaponova M. V., Komarov E. G. Izmeritel' predvestnikov zemletrjasenij (Earthquake precursor meter). Pat. RU2647210S1 Ros. Federacija. MPK8 G01V1/008, no 2016143744A; zajavl. 14.03.18; opubl. 14.03.18 (in Russian).
5. Bondur V. G., Davydov V. F., Sorokin I. V., Sorokina S. V., Cidilina M. N. Ustrojstvo registracii predvestnikov zemletrjasenij (Earthquake precursors registration device). Pat. RU2010129072 Ros. Federacija. MPK8 G01V1/008, no 2016143744A; zajavl. 14.07.2010; opubl. 20.01.2012 (in Russian).
6. Larin N. V., Larin V. N., Gorbatikov A. V. Kol'cevye struktury, obuslovlennye glubinnymi potokami vodoroda. Degazaciya Zemli: geotektonika, geodinamika, geoflyuidy, nef' i gaz, uglevodorody i zhizn' (Ring structures due to deep hydrogen flows. Earth degassing: geotectonics, geodynamics, geofluids, oil and gas, hydrocarbons and life). Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika P. N. Kropotkina, 18–22 oktyabrya 2010 g. Moscow, GEOS, 2010, pp. 284–288 (in Russian).
7. Urduhanov R. I., Vojtov G. I., Nikolaev I. N. i dr. Nestabil'nost' vodorodnogo polja atmosfery pochv i podpochv kak reakcija na Dagestanskije zemletrjaseniya 1998–2000 gg. (Instability of the hydrogen field of the atmosphere of soils and subsoils as a reaction to the Dagestan earthquakes of 1998–2000). DAN, 2002, V. 385, no 6, pp. 818 (in Russian).
8. Burym Ju. A., Ivanov V. A., Samsonov K. A., Troyan V. V. Vosstanovlenie i razvitie sejsmoprognosticheskoj seti na territorii Kryma (Restoration and development of seismic forecasting network in Crimea). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2019, V. 5 (71), no 4, pp. 183–198 (in Russian).
9. Utkin V. I., Yurkov A. K. Dinamika vydeleniya radona iz massiva gornyh porod kak kratkosrochnyj predvestnik zemletryaseniya (Dynamics of radon emission from rock mass as a short-term precursor of an earthquake). Dokl. RAN, 1998, V. 358, no 5, pp. 575–680 (in Russian).